EINGEGANGEN
- 7. AUG. 2008
Erled. F-2008/12

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
HOLZFORSCHUNG e.V.
Bayerstrasse 57-59 · D-80335 München
Telefon 089 / 51 61 70-0 · Fax 53 16 57

Fachhochschule Rosenheim

HOLZBAU DER ZUKUNFT

TP 4 Verknüpfung des anlagentechnischen Brandschutzes mit haustechnischen Installationen

Prof. Dr.-Ing. G. Hausladen
Dr. Z. Giertlová
Dipl.-Ing. W. Nowak
Lehrstuhl für
Bauklimatik und Haustechnik
TU München

TEILPROJEKT 4

Verknüpfung
des anlagentechnischen Brandschutzes
mit haustechnischen Installationen

Prof. Dr.-Ing. G. Hausladen
Dr. Z. Giertlová
Dipl.-Ing. W. Nowak
Lehrstuhl für
Bauklimatik und Haustechnik
TU München

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1 Einleitung	9
2 Problemstellung und Literaturüberblick	11
2.1 Sicherheitsbetrachtung der Holzbauweise aus der Sicht des Brandschutzes	11
2.1.1 Statistische Angaben	11
2.1.2 Fluchtwege und Verhalten in Brandsituation	15
2.1.3 Brandschutz im Holzbau	17
2.1.3.1 Brandbelastung	18
2.1.3.2 Bauordnungsrechtliche Regelungen und anschließende Vorschriften	21
2.3 Anlagentechnischer Brandschutz	23
2.3.1 Automatische Löschanlagen	23
2.3.1.1 Sprinkleranlagen	23
2.3.1.2 Wassernebellöschanlagen	30
2.3.1.3 Sonstige automatische Löschanlagen	31
2.3.1.4 Anforderungen an Löschanlagen für den Wohnungsbau	31
2.3.2 Brandmeldeanlage im privaten Bereich	31
2.4 Zielsetzung	34
3 Wasserführende Anlagensysteme in Wohngebäuden	35
3.1 Heizungssystem	35
3.2 Trinkwarmwasser	36
3.3 Trinkwasser (kalt)	37
4 Arbeitsmethodik und meßtechnische Untersuchungen	39
4.1 Wasserversuche	39
4.1.1 Versuchsserie: Wasserverteilung, Durchfluß, Druck	39
4.1.2 Sprinklerserie I	34
4.1.3 Sprinklerserie II	50
4.1.4 Heizungsnetz	52
4.1.5 Auswertung der Wasserversuche	53
4.2 Brandversuche	54
4.2.1 Versuchsaufbau	54
4.3 Experimentelle Untersuchungen	60
5 Anlagentechnische Konzepte für Wohngebäude in Holzbauweise	76
5.1 Anforderungen, Kriterien	76
5.1.1 VdS-CEA-Richtlinien 4001 (2003-01) für Planung und Einbau von Sprinkleranlagen	76
5.1.2 Hygienevorschriften für Trinkwasserleitungen	77
5.2 Anlagekonzepte	77
5.2.1 Verlegung bei Massivholzdecken	78
5.2.2 Verlegung bei Holzbalkendecken	79
6 Zusammenfassung	80
Literatur	81

Vorwort

Holz ist ein traditioneller Baustoff, der trotz des Wettbewerbs mit anderen Materialien auch in modernen Bauwerken eine wichtige Rolle spielt. Die Entwicklung von neuen Produkten auf der Basis von Holz und Holzwerkstoffen führt dazu, dass ihr Anwendungsspektrum immer breiter wird und Konstruktionen mit hohem Vorfertigungsgrad realisiert werden können. Die Zusammensetzung der Konstruktionen kann maßgeschneidert vorbereitet werden. In diesem Zusammenhang werden auch die Fragen des Brandschutzes immer wieder neu gestellt und die Bestrebung nach mehr Sicherheit wird zunehmend deutlicher. Neben den baulichen Maßnahmen werden die Möglichkeiten in Betracht gezogen, wie die Vorteile des anlagentechnischen Brandschutzes im Holzbau optimal genutzt werden könnten.

Das vorliegende Projekt wurde im Rahmen der Initiative Holzbau der Zukunft bearbeitet und durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst dankenswerterweise finanziell gefördert.

Die Autoren möchten sich bei allen Kollegen bedanken, die mit ihrem Rat und ihrer Hilfe dieses Projekt begleitet haben, sowie bei den Herstellern für die zahlreichen, wichtigen Informationen und für die Hilfestellung bei der Durchführung der Versuche:

bei der Fa. Haas für das großzügige zur Verügung stellen des Modellholzhauses,

bei der Fa. Knauf für die Bereitstellung der Feuerschutzplatten und insbesondere beim Herrn Thode für sein Interesse und Zusammenarbeit,

bei der Firma Minimax für wertvolle fachliche Unterstützung im Bereich der Sprinkleranlagen,

bei den Kollegen von der MFPA Leipzig für die freundliche Aufnahme an der Prüfstelle und die Zusammenarbeit bei der Durchführung der Brandversuche,

bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Winter vom für sein Engagement und fachliche Unterstützung,

sowie beim Herrn Max Merk für sein Interesse an unserer Arbeit und seine Hilfsbereitschaft.

Zu guter Letzt möchten wir uns bei unseren Kollegen Herrn Dipl.-Ing. Michael Merk und Herrn Dipl.-Ing. René Stein vom Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München für ihre fachliche und tatkräftige Unterstützung herzlich bedanken.

Die Autoren

1 Einleitung

The knowledge of fire behaviour of wood-based and other products obtained experimentally and from experience with actual fires is of no use unless it can be applied to reducing loss of life and property.

L. A. Ashton, 1965

Beim Vergleich von Holz- und Massivbau wird die Holzbauweise manchmal nachteilig bewertet, wobei die Unterschiede nicht durch tatsächliche negative Charakteristika, sondern rein emotionell begründet werden. Ein objektiver Vergleich der beiden Bauweisen ist jedoch nur anhand der zu stellenden Anforderungen möglich – vor allem in Bezug auf Wärmeschutz, Feuchtigkeitsschutz, Schallschutz, Lebensdauer, Wohnbehaglichkeit und, nicht zuletzt, Brandschutz. Es ist davon auszugehen, dass bei einer materialgerechten Konstruktion und fachkundiger Ausführung, die Bauwerke unabhängig von der Materialauswahl das gleiche Sicherheitsniveau erfüllen können.

Bei der Frage nach der Brandsicherheit von Holzkonstruktionen, werden oft wenig sachliche Argumente für und gegen den Holzbau angeführt. Es wird einerseits betont, dass die Konstruktionen so dimensioniert werden können, dass ihre Tragfähigkeit und Standfestigkeit über die erforderliche Dauer erhalten bleibt, und dass die Hauptgefahrenquelle nicht in der Konstruktion liegt, sondern auf die Gebäudenutzung zurückzuführen ist. Auf der anderen Seite wird argumentiert, dass die durch Innenausstattung vorhandene Brandlast im Holzbau und Massivbau zwar vergleichbar ist, in einem Brandfall jedoch auch mit der, in der Holzkonstruktion vorhandener Brandlast gerechnet werden muss, und dass auch nach einem erfolgreichen Feuerwehreinsatz ein Gebäude in Holzbauweise nicht saniert werden kann, weil die Austrocknung der Konstruktion, ihre Reinigung und die Beseitigung des Brandgeruches nicht möglich ist.

Holz und der überwiegende Teil der Holzwerkstoffe bestehen im wesentlichen aus organischen Verbindungen und sind deshalb brennbar. Es ist zwar möglich, ihre Entzündbarkeit zu reduzieren und die Geschwindigkeit der Flammenausbreitung auf ihrer Oberfläche herabzusetzen, es ist aber nicht möglich, sie in einen unbrennbaren Zustand zu überführen. Es ist daher unbestritten, dass Holzhäuser im Brandfall einer größeren Brandzerstörung als Massivbauten unterliegen.

Kein Gebäude ist feuersicher, und durch intensive Hitze kann jede Konstruktion beschädigt werden. Die Tatsache, dass Brände nicht verhindert werden können, bedingt die Notwendigkeit, den potentiellen Schaden zu minimieren. Eine aus der Sicht des Brandschutzes möglichst sichere Gebäudeplanung setzt somit sowohl die Beachtung der gesetzlichen Regelungen als auch die Kenntnis der brandschutztechnischen Eigenschaften der verwendeten Baustoffe und Konstruktionen voraus.

Um der Holzbauweise trotz der widersprüchlichen Bewertung bezüglich des Brandschutzes ein breiteres Anwendungsgebiet zu erschließen und ihre Vorteile optimal nutzen zu können, wurden in den letzten Jahren in Europa mehrere Forschungsprojekte mit Schwerpunkt auf die Brandsicherheit eingeleitet und Modellbauvorhaben realisiert. Das Ziel dieser Vorhaben war, brandschutztechnische Anforderungen an Holzkonstruktionen, ihren Aufbau, die Detailausbildung der Anschlüsse u.a. so zu definieren, dass möglichst hohe Brandsicherheit für Holzbauten gewährleistet wird.

Die Brandgefahr resultiert aus der Nutzung des Gebäudes und der Verlauf eines Raumbrandes wird in erster Linie von der internen Brandlast, den Einrichtungsgegenständen, und von den Ventilationsbedingungen beeinflusst.

Um den weiteren Verlauf eines Raumbrandes unter Kontrolle bringen zu können, ist es wichtig, dass der Brand bereits in seinem Entstehungsstadium entdeckt wird und bis zur Ankunft der Feuerwehr zumindest lokal begrenzt bleibt.

In diesem Zusammenhang können die Maßnahmen des anlagentechnischen Brandschutzes sinnvoll und effektiv eingesetzt werden. Die Verwendung von Rauchmeldern gehört mittlerweile zu gängigen und unbestritten wirksamen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit der Gebäudenutzer in einem Brandfall, die Vorteile von automatischen Löschanlagen sind seit Jahrzehnten bekannt. Diese Anlagen wurden ursprünglich für den Industriebau entwickelt und werden inzwischen erfolgreich auch in Büro- und Verwaltungsgebäuden, Versammlungsstätten, Gaststätten, Hotels etc. eingesetzt. Sie dienen nicht nur dazu, die Sicherheit der baulichen Anlagen zu erhöhen, sondern sie geben den Architekten auch mehr gestalterische Freiheit und ermöglichen neue materialtechnische Lösungen. Ihre breitere Verwendung im Wohnungsbau ist jedoch – zumindest in den mitteleuropäischen Ländern – immer noch „ungewöhnlich".

Insbesondere in Bezug auf die Brandsicherheit von mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise muss neben der Beachtung konstruktiver Regeln und sorgfältiger Bauausführung ein überlegtes und in sich schlüssiges Gebäudekonzept vorliegen, in dem architektonische, bauphysikalische, konstruktive und brandschutztechnische Anforderungen berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang wird auch die Entscheidung für anlagentechnische Maßnahmen immer mehr von Bedeutung.

2 Problemstellung und Literaturüberblick

Im Artikel „Zur Sicherheit" schreibt Hellmut Stingl: *...Bei Bauwerken gibt es keine ´Null-Serie´, sie erlauben nach ihrer Errichtung kaum Korrekturen, Verbesserungen oder den Austausch von einzelnen ...Elementen...* (Stingl, 2007).

Die Aufgabe der Planer besteht darin, das Gebäude in seiner Gesamtheit so zu gestalten, dass seine Sicherheit gegeben ist. Der vorbeugende Brandschutz spielt hier eine außerordentlich wichtige Rolle, da durch ihn das Brandrisiko erheblich gesenkt werden kann. So werden im Bauordnungsrecht brandschutztechnische Anforderungen gestellt, z.B. bezüglich der Abstandsflächen, der Ausführung von Bauteilen, der Verwendung von Baustoffen u.a. In bestimmten Gebäuden werden bereits vom Gesetzgeber auch anlagentechnische Maßnahmen wie Brandmelde- und Sprinkleranlagen berücksichtigt.

Im Wohnungsbau ist aus brandschutztechnischer Sicht die Unterteilung der Gebäude in einzelne Nutzungseinheiten von ca. 40-150 m² vorteilhaft, auf der anderen Seite muss berücksichtigt werden, dass sich in diesen Anlagen Personen unterschiedlichen Alters und Mobilität aufhalten, und dass sich hier sowohl Schlafräume als auch Küchen, Keller- und Technikräume befinden. Deswegen ist es wichtig, neben den allgemeinen, nutzungsspezifischen Grundsätzen auch die Risiken zu berücksichtigen, die aus dem verwendeten Bausystem hervorgehen. Nur dann ist es möglich, durch entsprechende baulichen, konstruktiven und anlagentechnischen Maßnahmen die Gefahren eines Brandereignisses zu minimieren und die Sicherheit der Nutzer zu erhöhen.

2.1 Sicherheitsbetrachtung der Holzbauweise aus der Sicht des Brandschutzes

2.1.1 Statistische Angaben

Für den Normalbürger stellt ein Gebäudebrand in normalen Zeiten ein seltenes Erlebnis dar; jedoch lassen sich aus den weltweit durchgeführten Statistiken in Bezug auf die Brandereignisse manche Informationen entnehmen – auch wenn die zitierten Statistiken nicht einheitlich durchgeführt wurden und nicht immer die Situation in mitteleuropäischen Ländern widerspiegeln.

So zeigt z. B. eine von Tovey (1976) zitierte Statistik, dass die meisten Brände am Freitag nachmittag auftreten. Seine Angaben über die Wahrscheinlichkeit eines Brandes im Tagesverlauf stimmen mit den statistischen Angaben, die für das Jahr 1996 für die Slowakei veröffentlicht wurden, überein (Abb. 2.1-1).

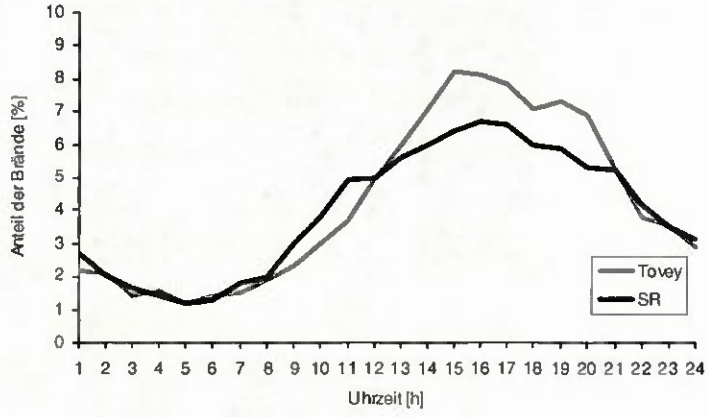


Abb. 2.1-1 Anzahl der Brände im Tagesverlauf nach Tovey (1976) und nach der Brandstatistik der Slowakischen Republik für das Jahr 1996.

Aus der USA-Statistik für das Jahr 1998 geht hervor, dass etwa 74 % aller Gebäudebrände auf Wohngebäude zurückzuführen war, wobei der Anteil der 1- und 2-Familienhäuser bei 55 % lag (Karter, 1,999).

Aus der Brandschadenstatistik der Versicherungskammer Bayern für das Jahr 1994 geht deutlich hervor, dass die größte Anzahl der Brandschäden im Wohnbereich zu verzeichnen ist (Abb. 2.1-2). Der finanzielle Schaden ist dagegen im Wohnbereich durchschnittlich deutlich kleiner als in sonstigen Bereichen wie Industrie, Handwerk, Landwirtschaft etc. (Rupp, 1997).

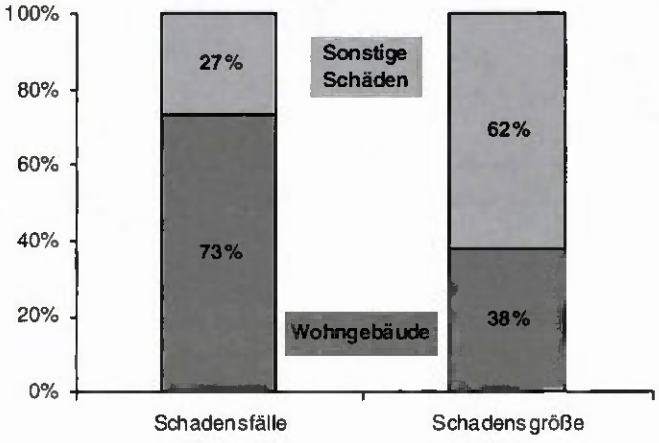


Abb. 2.1-2 Anzahl der Brandereignisse und die Höhe des finanziellen Schadens für Wohngebäude und sonstige Bereiche nach den Angaben der Bayerischen Versicherungskammer für das Jahr 1994 (Rupp, 1997).

Eine Aufschlüsselung der Schadenursachen (Abb. 2.1-3) zeigt deutlich, dass ein Viertel aller Brandschäden auf einen Fehler in der elektrischen Anlage eines Hauses oder in einem elektrischen Gerät zurückzuführen ist. Eine nennenswerte Anzahl fällt dabei auf die stand-by-Haushaltsgeräte zurück. Bei Licht- und Wärmegeräten wird oft nicht der benötigte Abstand eingehalten, so daß die Wärmestrahlung zur Entzündung des umgebenden Materials führt.

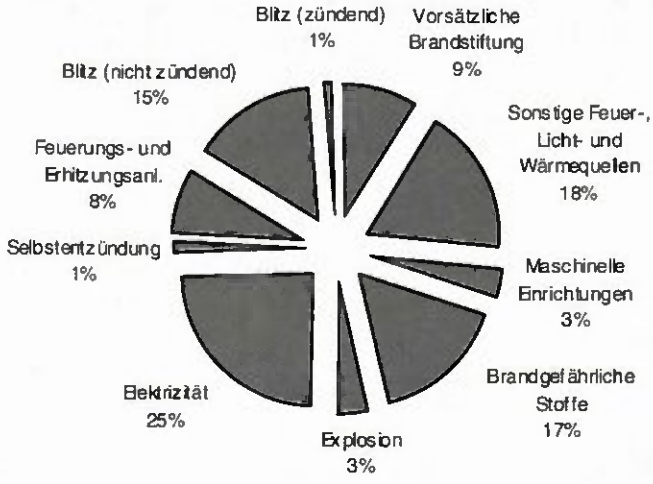


Abb. 2.1-3 Schadenursachen bei Bränden nach der Statistik der Bayerischen Versicherungskammer für das Jahr 1994 (Rupp, 1997).

Nach dem aus der vorliegenden Statistik Wohnhäuser in Holzbauweise (23 Fälle) ausgegliedert und separat analysiert wurden, konnte festgestellt werden, dass die häufigste Brandursache ein elektrischer Defekt (7 Fälle) darstellte, und die zweite bedeutendste Ursache (5 Fälle) dem Ofen zugeschrieben werden konnte (Abb. 2.1-4).

Abb. 2.1-4 Schadenursachen bei Bränden in Wohnhäuser in Holzbauweise nach der Statistik der Bayerischen Versicherungskammer für das Jahr 1994 (Rupp, 1997).

Eine nähere Betrachtung der gesamten Schadenshöhe (Abb. 2.1-5) zeigt, dass ein zündender Blitzschlag sowie eine vorsätzliche Brandstiftung den größten Schaden zur Folge haben. Dies wird dadurch erklärt, dass in beiden Fällen bereits in der Zündphase eine große Wärmemenge vorhanden ist, die eine rasche Ausbreitung des Brandes ermöglicht. Diese Tatsache spiegelt sich auch in einer gesonderten Betrachtung der Wohnhäuser in Holzbauweise wider.

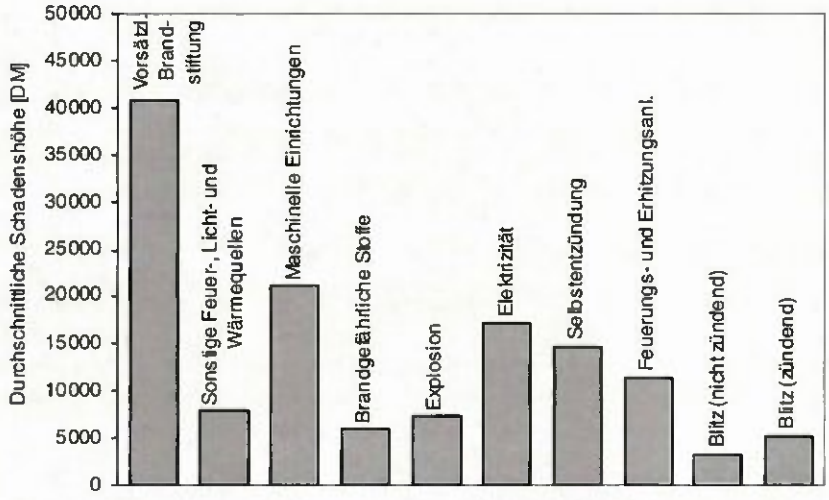


Abb. 2.1-5 Schadenhöhe nach Brandursachen laut Statistik der Bayerischen Versicherungskammer für das Jahr 1994 (Rupp, 1997).

Aus dem Vergleich der durchschnittlichen Schadenssummen, die infolge eines Brandgeschehens laut der oben genannten Statistik der Bayerischen Versicherungskammer für das Jahr 1994 in den Wohnhäuser in Holz- und Mischbauweise entstanden sind, hat sich für die Mischbauweise etwa der halbe Schadensumfang ergeben (Rupp, 1997).

Tichelmann (1998) gibt in seiner Analyse der Brandursachen und des Brandgeschehens in Wohngebäuden im Deutschland im Jahr 1995 an, dass etwa 24 % aller Brände der Klasse „Mittelbrand" angehörten und 4,7 % sich in einen Großbrand entwickelten. In 29,6 % aller Brandfälle brach das Feuer im Treppenhaus, im Keller oder im Dachraum aus.

Aus der von Mehaffey (1987) zitierten Jahresstatistik für Kanada kann entnommen werden, welches Material in einem Brandfall als erstes entzündet wurde (Tab. 2.1-1). Trotz unterschiedlicher Gliederung ist ersichtlich, dass diese Angaben in der Tendenz mit den Angaben der Bayerischen Versicherungskammer vergleichbar sind.

Tab. 2.1-1 Brandschadenstatistik (gerundet) für Kanada, 1984 (Mehaffey, 1987)

Erstes entzündetes Material/Zündquelle	Anteil der Schadensfälle [%]	Schadensgröße [Mio. Dollar]
Kücheneinrichtung	12,3	43
Heizanlage	11,4	87
Elektrische Leitungen	11,0	108
Tabakwaren	11,0	63
Zündhölzer/Feuerzeug/Kerzen/offenes Feuer	6,4	45
Sonstige Geräte und Einrichtungen	3,8	21
Brandübertragung vom brennenden Nachbarhaus	3,0	19
Sonstige Elektroinstallationen	2,3	17
Schweißgeräte/Schneidbrenner	1,3	21
Heiße Asche, Kohle	0,7	7
Nicht zündender Blitzschlag	0,7	12
Sonstiges	36,2	480

Laut den Angaben der Feuerwehr in Bezug auf die Definition ihrer Schutzziele hinsichtlich der für die Menschenrettung und Brandbekämpfung benötigten Personalstärke bei einem Einsatz, gilt in Deutschland als kritischer Brand ein Zimmerbrand in einem Obergeschoss mit Tendenz zur Ausbreitung. Dabei wird angenommen, dass durch den Brandrauch der 1. Rettungsweg (Fluchtweg) für die Bewohner unpassierbar ist. In diesem Zusammenhang wird in den USA als kritischer Brand ein Brandgeschehen in einem typischen, in Holzbauweise errichteten Einfamilienhaus angesehen (Neuhoff, 1998).

Gebäudebrände, die durch Fahrlässigkeit oder Unfall entstanden sind, können sich nach Maag (2004) so abspielen, wie es in Abbildung 2.1-6 dargestellt ist. Eine allfällige Zündung bleibt entweder ohne Auswirkung oder sie entwickelt sich weiter und es besteht die Gefahr, dass der Brand auf andere Brandabschnitte und somit auf das ganze Gebäude ausgebreitet wird.

Für die Gebäudebenutzer besteht eine Gefahr der Erstickung und Rauchgasvergiftung und Verbrennung. Diese Gefahr steigt, wenn auf Grund einer nicht rechtzeitigen oder mangelhaften Detektion der Brand zu spät entdeckt wird und nicht aus eigener Kraft gelöscht werden kann, oder die Wohnung nicht rechtzeitig verlassen werden kann. Das Risiko steigt bei schlecht ausgebildeten oder sogar fehlenden Fluchtwegen, Immobilität der Gebäudebenutzer, nicht ausreichenden Möglichkeiten für die Durchführung von Brandbekämpfungsmaßnahmen u.a.

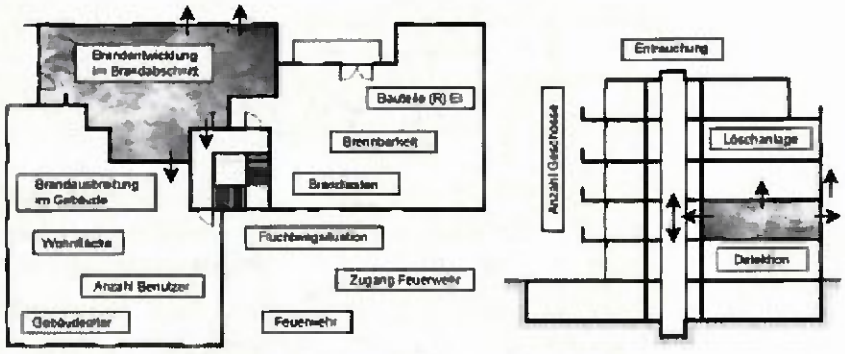


Abb. 2.1-6 Einflußparameter bei einem Gebäudebrand nach Maag, 2004.

Gemäss einer Schweizer Statistik (Bundesamt für Statistik, 2000) lag in der Schweiz im Jahr 1990 die durchschnittliche Wohnfläche bei 38 m² pro Person. Unter der Annahme, dass sich eine Person während 16 Stunden pro Tag und an 365 Tagen pro Jahr in Wohnbauten aufhält, beträgt die mittlere Gebäudenutzungsdauer 5.840 Stunden pro Jahr und Person (Maag, 2004). Nach den Angaben betrug in den Wohnbauten des Kantons Bern die jährliche Anzahl Brände bezogen auf 1 Million m² Gebäudefläche 27.8 für massive Gebäude und 44.7 für Gebäude in Holzbauweise. Unter Berücksichtigung des Schadenausmaßes konnte festgestellt werden, dass es in neuen, modernen Gebäuden im Vergleich zu älteren Wohnbauten zwar nicht seltener brennt, die Brandausbreitung jedoch geringer ist.

Gemäss der Untersuchungen von Wohnungsbränden in Skandinavien (Östman et al.,1999) sind bei älteren Gebäuden insbesondere Hohlräume in Raumabschlüssen sowie die Tragstruktur die Parameter, welche eine Brandausbreitung auf andere Wohnungen ermöglichen. Betroffen sind in erster Linie Gebäude in Holzbauweise. Diese Gebäude werden offensichtlich weniger dicht ausgeführt, so dass hier versteckte Hohlräume vorhanden sind. Hohlräume stehen somit im direkten Zusammenhang mit der Gefahr eines Brandübergriffs auf andere Brandabschnitte und der Verrauchung des Gebäudes. Die Brandabschnittsbildung in modernen Bauten wird im Vergleich zu älteren Gebäuden wesentlich konsequenter ausgeführt.

Die Brandsicherheit sinkt auch bei mangelhaften Wartung und Instandhaltung. Üblicherweise ist auch die Sorgfalt der Eigentümer und Mieter in neuen oder frisch renovierten Gebäuden größer als in alten und vernachlässigten Gebäuden.

Trotz den Andeutungen auf die Auswirkungen eines Brandes in den in Holzbauweise errichteten Gebäuden, kann anhand der aufgeführten Beispiele die häufig geäußerte Behauptung, dass die Art des verwendeten Materials allein einen entscheidenden Einfluss auf den Gesamtverlust infolge eines Brandes hat, nicht als stichhaltig angesehen werden.

Im Zusammenhang mit der Brandschutz ist keine neue Erfindung - die Angst vor dem Feuer und das Bedürfnis, sich vor ihm zu schützen, ist so alt wie das Feuer selbst. Das Sicherheitsempfinden und seine psychologischen Grundsätze gelten in bezug auf Gebäudeart und -nutzung genauso, wie in anderen Bereichen des täglichen Lebens.

2.1.2 Fluchtwege und Verhalten in Brandsituation

Neben dem vorbeugenden Brandschutz ist bei der Planung eines Gebäudes die Kenntnis über das Verhalten und die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Bewohner bei einem Ereignis sehr wichtig, insbesondere in Bezug auf die

bauliche und materialtechnische Ausbildung der Rettungswege. In einem Wohngebäude ist mit Personen unterschiedlichen Alters und Mobilität zu rechnen.

Einen weiteren Faktor stellt die Zeit dar, in der ein Aufenthalt im Gebäude in einem Brandfall noch sicher möglich ist. Diese Zeit kann durch die Gebäudegeometrie und bauliche Ausführung, vorhandene Brandlasten, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, Feuerlöschanlagen u.a. beeinflußt werden. Bei der Planung ist auch zu berücksichtigen, dass Sicherheit nicht nur die Gebäudenutzer, sondern im Brandfall auch die Lösch- und Rettungsdienste und die Umgebung betrifft.

Seit den 70er Jahren werden auch auf dem Gebiet des menschlichen Verhaltens in Bezug auf die Brandszenarien Forschungen durchgeführt, wobei heutzutage diese Erkenntnisse bei der Anwendung von Ingenieurmethoden im Brandschutz einen wesentlichen Faktor darstellen.

Eine zusammenfassende Auswertung der durchgeführten Studien und Umfragen geben Bodamer et al. (1987). Eine der umfangreichsten und vollständigsten zitierten Studien ist die Studie von Wood (1972). Sie wurde in Großbritanien auf der Grundlage von über 2000 Interviews mit Betroffenen aus etwa 1000 Brandfällen ausgearbeitet. Der größte Teil der Brandereignisse (50 %) fand in Wohngebäuden statt. Es zeigte sich dabei z.B., dass die Tendenz, verrauchte Strecken zurückzulegen, sehr deutlich war, und dass ein erstaunlich hoher Prozentsatz von 43 % der Personen, die sich schon außerhalb des Gebäudes in Sicherheit befanden, in das brennende Gebäude zurückkehrte.

Stein (1999) zitiert eine Untersuchung aller Todesfälle bei Bränden in Victoria, Australien in den Jahren 1990–95 (Abb. 2.1-7). Im Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass Kinder (< 4 Jahre) und alte Menschen (> 65 Jahre) besonders gefährdet sind. Eine andere zitierte Statistik der NFPA für Nordamerika zeigt, dass etwa 67 % aller Brandtoten im Schlaf überrascht werden (Abb. 2.1-8). Solche Tageskurven sind in verschiedenen Ländern qualitativ gleich und erreichen ihr Maximum in den frühen Morgenstunden zwischen 2 bis 4 Uhr.

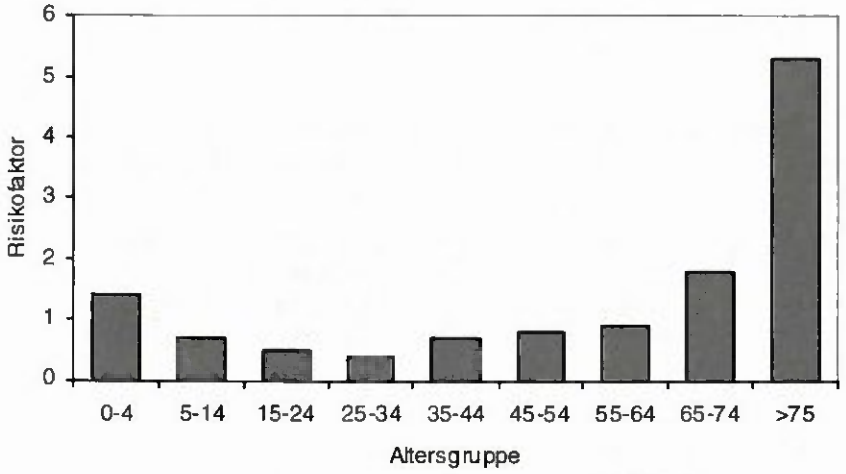


Abb. 2.1-7 Brandtote nach Altersgruppen in Victoria, Australien von 1990 bis 1995 (Stein, 1999). Risikofaktor wurde jeweils als Quotient aus den Zahlenanteilen Anzahl Todesopfer/Bevölkerung gebildet.

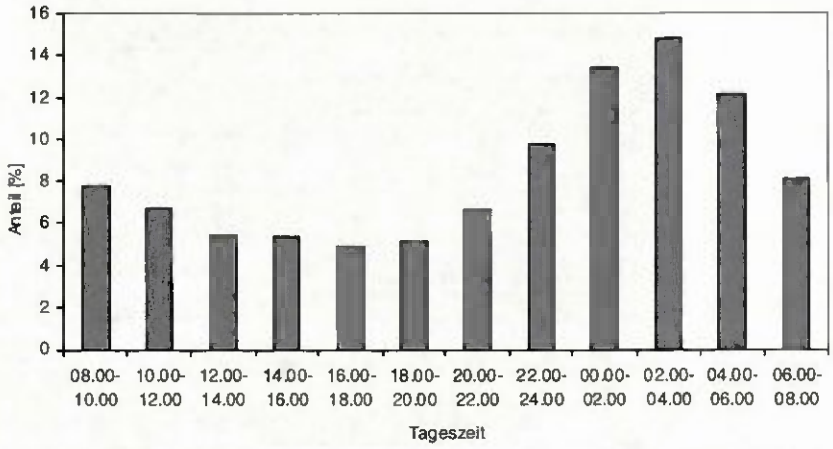


Abb. 2.1-8 Brände in Wohngebäuden mit Todesopfern abhängig von der Tageszeit in USA (Stein, 1999).

Ein weiterer Aspekt in diesem Zusammenhang ist die ökonomische Situation der Benutzer. Eine dänische Untersuchung von Bjerregård/Nonnemann (2003) hat gezeigt, dass es bei Gebäudebenutzern mit einem niedrigen Einkommen häufiger brennt, als bei Benutzern mit einem hohem Einkommen. Es liegt nahe, dass moderne Gebäude und vor allem Gebäude mit großzügigem Platzangebot in erster Linie durch sozial besser gestellte Personen benutzt werden. Die Gebäudenutzer bestimmen durch ihr Verhalten den Ablauf eines Gebäudebrandes mit, vor allem in bezug auf die Wartung und Instandhaltung des Gebäudes betrifft. Bestimmte Personengruppen gelten als besonders gefährdet, dies sind vor allem Raucher, Kinder und ältere Menschen, in der Mobilität eingeschränkte Menschen, durch Drogen, Alkohol etc. beeinflußte Menschen sowie Menschen, die sich in einer schwierigen sozialen oder ökonomischen Situation befinden.

2.1.3 Brandschutz im Holzbau

Bauwerke müssen so geplant und errichtet werden, dass der übliche Maß an Sicherheit erhalten bleibt. Risikoerhöhende Randbedingungen müssen dabei konsequent durch risikominimierende Maßnahmen kompensiert werden. Dies setzt sowohl Kenntnisse über das Brandgeschehen als auch Kenntnisse über mögliche Brandschutzmaßnahmen und die Auswirkungen des Brandes auf Personen, Gebäudestrukturen und -inhalt und auf die Umwelt voraus.

In diesem Zusammenhang hat Hosser (1993) die Auswirkungen eines Brandes mit Berücksichtigung der einzelnen Phasen und Einflussgrößen eines Brandgeschehens wie folgt dargestellt (Abb. 2.1-9):

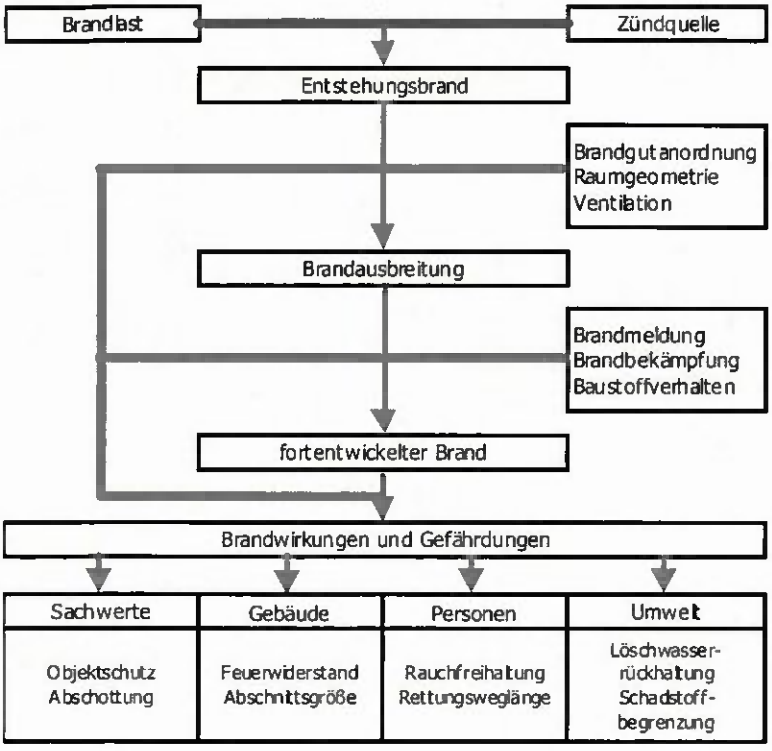


Abb. 2.1-9 Phasen, Einflussgrößen und Auswirkungen eines Brandes (Hosser 1993).

Für die praktische Bewertung der vorgesehenen Brandschutzmaßnahmen sind vor allem Einflussfaktoren von Bedeutung, die während der Brandentstehung und Brandausbreitung auftreten.

2.1.3.1 Brandbelastung

Brandversuche gehören nicht zu den zerstörungsfreien Untersuchungsverfahren und können daher nicht am vollendeten und genutzten Bauwerken durchgeführt werden. Eine Baukonstruktion oder ein Baustoff kann hinsichtlich des Brandverhaltens nur an einigen wenigen Proben in Modellversuchen untersucht werden. In diesem Zusammenhang ist u.a. die Auswahl einer geeigneten Brandbelastung entscheidend.

Unter normalen Umgebungsbedingungen stellt die Verbrennung keine spontane exotherme Reaktion dar – dem Brennstoff muss vor dem Beginn des Brennvorganges die Energie zugeführt werden, so dass bei festen Brennstoffen zuerst ein brennbares Gasgemisch entsteht. Die Zusammensetzung der Pyrolysegase bestimmt die Zündtemperatur und von der Geschwindigkeit der Zersetzungsreaktionen hängt es ab, ob die Verbrennung aufrechterhalten bleibt. Ob die Pyrolyse endotherm oder exotherm abläuft, wird von der Temperatur beeinflusst.

Bei einem Schadensfeuer im Gebäude sind sowohl der Mechanismus der Selbstentzündung als auch die Zündung durch eine Zündquelle relevant; die noch nicht in das Brandgeschehen einbezogene Brandlasten können durch direkten Flammenkontakt oder durch Funkenflug entflammt werden. Außerdem können sie durch konvektive oder radiative Wärmeübertragung so weit aufgeheizt werden, dass sie sich selbst entzünden. Bei Raumbränden spielt die radiative Aufheizung für das Erreichen des Flashover die dominierende Rolle (Hagen 1992).

Die konstruktiven baulichen Brandschutzmaßnahmen (Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen) werden für die Brandbeanspruchung während eines fortentwickelten Brandes bemessen, der durch die Normbrandkurve (Einheits-Temperatur-Zeitkurve, ETK) nach ISO 834 simuliert wird. Ihr zeitlicher Verlauf ist in Abb. 2.1-10 dargestellt. Bei der Beurteilung bestimmter Bauteile (z.B. Feuerschutzabschlüssen) wird auch der Druckaufbau im Brandraum berücksichtigt.

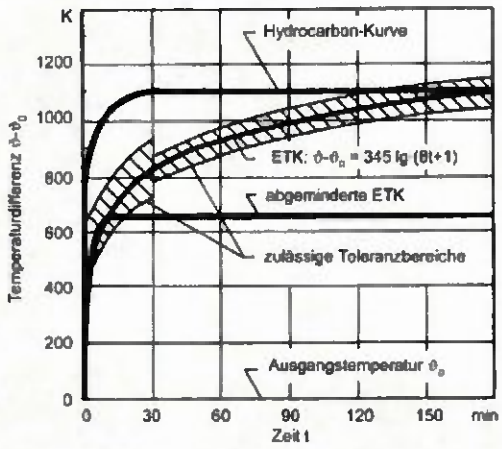


Abb. 2.1-10 Zeitlicher Verlauf der Normbrandkurve (ISO 834).

Im Vergleich dazu wird die Kohlenwasserstoffkurve für die Bemessung von Bränden verwendet, für die hohe Temperaturen und ein schneller Temperaturanstieg charakteristisch sind (z.B. Öllachenbrände).

Die Außenbrandkurve (abgeminderte ETK) wird für die Beurteilung der Feuerwiderstandsdauer (nicht Brandausbreitung) von raumabschließenden Bauteilen (Gebäudeaußenwände) verwendet.

Die zeitliche Entwicklung der Temperatur simuliert die Bedingungen im Verlauf eines realen Brandes. Hier können hinsichtlich der Temperaturentwicklung zwei Phasen unterschieden werden – die Phase des Entstehungs- und des vollentwickelten Brandes (Abb. 2.1-11).

Brandphasen, Brandtemperaturen (Schema) und Brandrisiken (Beispiele)

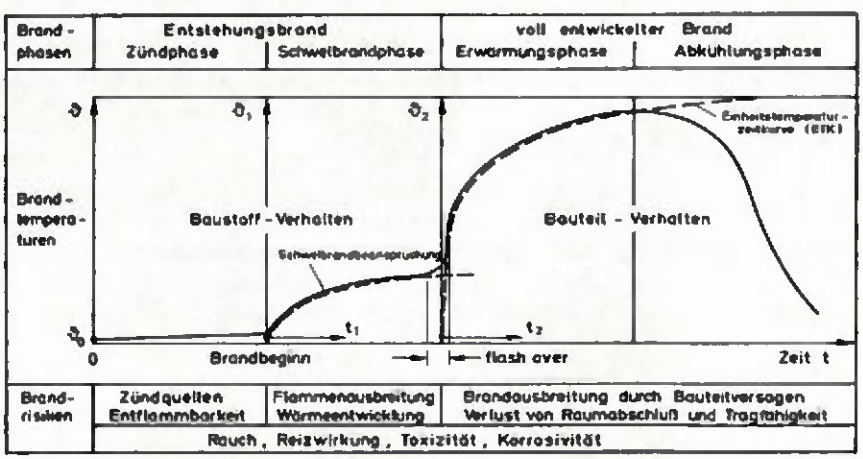
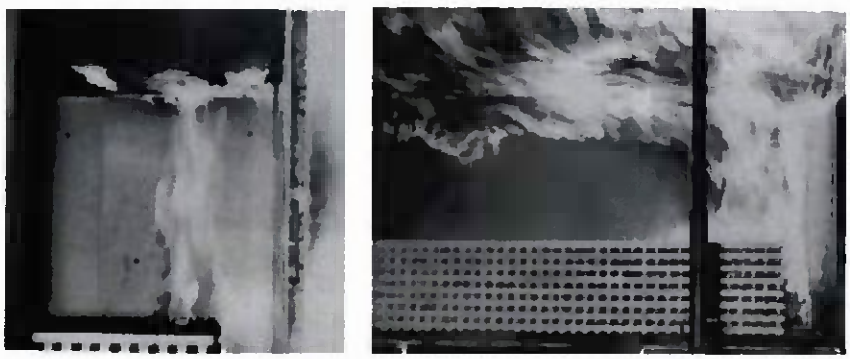


Abb. 2.1-11 Einzelne Phasen eines Brandes (Kordina u. Meyer-Ottens, 1981).

Unter dem Gesichtspunkt der Schutz– und Rettungsmöglichkeiten ist die Phase des Entstehungsbrandes die wichtigste. In diesem Zeitraum findet die Feuerausbreitung bei gleichzeitiger Temperaturentwicklung statt, wobei die „Baustoffeigenschaften" (Entzündung, Flammenausbreitung, Rauchentwicklung u.a.) eine wichtige Rolle spielen. Zu den Einflussfaktoren, die in diesem Stadium in Betracht gezogen werden müssen gehören unter anderen Art und Zustand des brennbaren Stoffes, Umgebungstemperatur sowie Wärmeleistung und Einwirkungsdauer der Zündquelle.

Bei einer horizontalen Brandausbreitung über die Oberfläche einer homogen angeordneten Brandlast wirkt die Flammenstrahlung auf die benachbarten Bereiche ein. Der Brand breitet sich in jeder Richtung mit annähernd konstanter Geschwindigkeit aus, so dass die von dem Brandgeschehen erfasste Grundfläche mit der Zeit etwa quadratisch wächst.

Bei vertikaler Flammenausbreitung (Abb. 2.1-12) wirkt die Flammenfront auf die noch nicht brennende Oberfläche ein und heizt sie vor. Aus diesem Grund tritt die Pyrolyse und die Entzündung der Pyrolyseprodukte wesentlich schneller ein (Hosser, 1993).



a) b)

Abb. 2.1-12 Vertikale Flammenausbreitung (Hartfaserplatten); Hoffmann u. John, 1969
a) Entzündung der Decke; b) 2 Minuten nach der Entzündung der Decke

Im weiteren Verlauf nimmt die Geschwindigkeit der Brandentwicklung durch die verstärkte Wärmeabgabe und die dadurch bedingte Temperaturerhöhung der Umgebung zu. Durch die ansteigende Wärmestrahlung und Temperatur kommt es zur Zersetzung der im Raum befindlichen Brandlast und zur Entstehung eines zündfähigen Gemisches, dessen Zündung mit einer hohen, explosionsartigen Geschwindigkeit verläuft. Dieser Zeitpunkt wird als „Feuerübersprung" (flash-over) bezeichnet und leitet die zweite Phase, die des vollentwickelten Brandes ein (Troitzsch, 1981).

In Wohnbauten führen oft bereits kleine Brandlasten zu einem Flashover. Die Versuche von Maag u. Fontana (2000) haben gezeigt, dass bereits mobile Brandlasten von ca. 250 MJ/m² (auch ohne brennbare Oberflächenmaterialien) zum Flashover führen können, dabei ist für den Flashover vor allem die Bildung und die Temperatur der Pyrolysegase maßgebend. Nichtbrennbare Oberflächenmaterialien von Wänden, Decken und Böden können den Zeitpunkt des Flashovers verzögern.

Durch den Einsatz von automatischen Löschanlagen soll der Brand bereits in der Entstehungsphase unter Kontrolle gebracht werden. Das Szenario eines vollentwickelten Brandes wird daher bei den vorliegenden Untersuchungen nicht betrachtet, der Versuchsaufbau und gewählte Parameter sind im Kapitel 3 beschrieben.

Die Auswirkungen eines Vollbrandes auf die Holzkonstruktion und die Problematik der Brandweiterleitung werden im Rahmen des Forschungsprojektes TP 11: Mechanismen der Brandweiterleitung bei Gebäuden in Holzbauweise – Erstellung eines Konstruktionskataloges für „Holzhäuser mit erhöhter Brandsicherheit" untersucht (Projektleitung Dipl.-Ing. René Stein, TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion).

2.1.3.2 Bauordnungsrechtliche Regelungen und anschließende Vorschriften

Die Entwicklung von Gesellschaft und Wirtschaft verlangt nach immer innovativeren Bauten. Dieser Prozeß wird nicht zuletzt durch die fortlaufende technische Weiterentwicklung von Werk- und Baustoffen ermöglicht. Auf der anderen Seite kann sich dieser Fortschritt in den aktuellen Brandschutzvorschriften oft erst mir Verzögerung widerspiegeln, da zum Beispiel für neue Brandschutzprobleme keine Standardlösungen vorhanden sind oder betriebliche Anforderungen die Anwendung von Standardmaßnahmen einschränken.

Nicht brandschutzorientierte Planer stoßen so häufig an ihre Grenzen und fühlen sich durch die Vorschriften in ihrer Kreativität eingeschränkt. In diesem Fall sind immer die Ausarbeitung von objektbezogenen Brandschutzkonzepten erforderlich.

Die Bauordnungen in Deutschland haben den Status von Landesgesetzen. Die einzelnen Landesbauordnungen haben zwar einen vergleichbaren Aufbau, stellenweise können sie jedoch untereinander erhebliche Differenzen aufweisen. Sie stehen im direkten Zusammenhang mit den Durchführungsvorschriften und den technischen Regeln, die die Umsetzung technischer Aufgabenstellungen in standardisierter Form gewährleisten sollen.

Die grundsätzlichen Anforderungen einer Bauordnung betreffen die Sicherheit der baulichen Anlagen und schreiben für den Brandschutz u.a. vor, dass bauliche Anlagen so beschaffen sein müssen, dass

- der Entstehung eines Brandes und
- der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird

und bei einem Brand

- die Rettung von Menschen und Tieren sowie
- wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Um die Schutzziele zu erfüllen, sind unterschiedliche Maßnahmen erforderlich, zu denen bauliche (passive), technische (aktive) und organisatorische Maßnahmen gehören.

In Bezug auf den Holzbau spiegeln die einzelnen Landesbauordnungen und Richtlinien Unterschiede in der Erfahrung und Bewertung von Holzhäusern im Brandfall wieder. Im Vergleich zu mitteleuropäischen Ländern werden beispielsweise in den nordeuropäischen Ländern, die Möglichkeiten des anlagentechnischen Brandschutzes (Rauchmelder, Sprinkleranlagen) in den Brandschutzkonzepten stärker mitberücksichtigt.

Im deutschen Bauordnungsrecht wird neben der Gebäudehöhe die Größe der Nutzungseinheiten in die Risikobetrachtung miteinbezogen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass Büro- und Verwaltungsgebäude mit Nutzungseinheiten (max. 400 m²), die deutlich kleiner sind als Brandabschnitte, gegeneinander brandschutztechnisch abgetrennt sind und über ein eigenes Rettungswegsystem verfügen. Sie stellen bezüglich der Brandausbreitung und Brandbekämpfung ein geringeres Risiko dar als Gebäude mit ausgedehnten Nutzungs-

einheiten. Im Wohnungsbau stellen die einzelnen Wohnungen die Nutzungseinheiten dar. Nach den Kriterien Gebäudehöhe und Größe der Nutzungseinheiten werden Gebäudeklassen definiert, für die grundsätzliche brandschutztechnische Anforderungen festgelegt sind.

Um die Errichtung mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise in Deutschland baurechtlich zu erleichtern, wurde in der neu überarbeiteten Musterbauordnung (MBO 2002) die Gebäudeklasse 4 für Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m eingeführt (Tab. 2.1-2). Für diese Gebäude wurde die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile als „hochfeuerhemmend" (Bezeichnung REI 60 bzw. EI 60 nach EN 13501-2) festgelegt.

Tab. 2.1-2 Gebäudeklassen nach der Muster-Bauordnung 2002.

Gliederung nach der Gebäudehöhe	Gebäudehöhe	Gebäudeklasse (Anzahl der Geschosse)	Gebäudemerkmale	Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile (Wände, Decken)	Zulässige Baustoffverwendung
Gebäude geringer Höhe	bis 7 m	Gebäudeklasse 1 (1)	a) freistehend < 2 Nutzungseinheiten von insges. < 400 m² b) freistehend land- oder forstwirt. genutzt	ohne Anforderung	Bauteile aus brennbaren Baustoffen
		Gebäudeklasse 2 (2)	< 2 Nutzungseinheiten von insges. < 400 m²	feuerhemmend (30 min)	Bauteile aus brennbaren Baustoffen
		Gebäudeklasse 3 (3)	sonstige Gebäude geringer Höhe	feuerhemmend (30 min)	Bauteile aus brennbaren Baustoffen
Gebäude mittlerer Höhe	> 7 bis 22 m	Gebäudeklasse 4 (4-5)	Gebäudehöhe < 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils <400 m² in einem Geschoss	hochfeuerhemmend (60 min)	tragende und aussteifende Teile: brennbar Brandschutzbekleidung: nichtbrennbar Dämmstoffe: nichtbrennbar
		Gebäudeklasse 5 (6-8)	sonstige Gebäude	feuerbeständig (90 min)	Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen
Hochhäuser	> 22 m				

In „hochfeuerhemmenden" Konstruktionen dürfen brennbare Baustoffe auch für tragende und aussteifende Teile eingesetzt werden, wenn sie allseitig eine nichtbrennbare Brandschutzbekleidung haben und nichtbrennbare Dämmstoffe verwendet werden. Mit dieser Regelung wurde also eine konstruktive Holzverwendung für maximal 5-geschossige Gebäude in Holzbauweise ermöglicht.

Zusätzlich wurde eine Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) ausgearbeitet, in der u.a. die Grundsätze gegen die Brandweiterleitung durch Fugen und Installationen beschrieben sind und die Anforderungen an die Brandschutzbekleidung definiert sind.

Die aktuellen bauordnungsrechtlichen Problemstellungen im Zusammenhang mit brandschutztechnischen Anforderungen an mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise werden aktuell im Forschungsprojekt TP 2: „Brandsicherheit im mehrgeschossigen Holzbau" (Projektleiter Dipl.-Ing. Michael Merk, TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion) bearbeitet.

2.3 Anlagentechnischer Brandschutz

Brandschutzmaßnahmen in einem Gebäude setzen sich aus baulichen, technischen und betrieblichen/organisatorischen Maßnahmen zusammen, die in einem Brandfall durch die Aufgaben der Feuerwehr, den abwehrenden Brandschutz, ergänzt werden. Alle Maßnahmen müssen in ihrer Wirkung aufeinander abgestimmt sein.

2.3.1 Automatische Löschanlagen

Die automatischen Löschanlagen gehören zu der technischen Ausrüstung der Gebäude und stehen mit dem baulichen Brandschutz in unmittelbarer Verbindung, da durch die Maßnahmen des baulichen Brandschutzes wie z.B. durch die Ausbildung von Abschottungen gewährleistet wird, dass die Löschanlagen wirksam funktionieren können.

In einem Brandfall haben die Löschanlagen auch eine brandabwehrende Wirkung und bilden somit eine Schnittstelle mit der Funktion der Feuerwehr.

2.3.1.1 Sprinkleranlagen

Die Sprinkleranlagen sind ständig betriebsbereite selbsttätige ortsfeste Feuerlöschanlagen, die einen eventuellen Brand entdecken, Alarm auslösen und den entstehenden Brand löschen, oder bis zum Eintreffen der Feuerwehr unter Kontrolle halten.

Die ersten Versuche, Wasserlöschanlagen zu entwickeln sind seit Anfang des 19. Jahrhunderts bekannt. Die erste bekannte Anlage, die einen größeren Schutzumfang hatte, wurde in den USA von Parmlee – einem Klavierbauer entwickelt. Aufbauend auf dieser Anlage wurde später ein Sprinkler von Frederick Grinnell patentiert (Abb. 2.3-1, Tab. 2.3-1).

Abb. 2.3-1a
Parmelee Sprinkler, 1874
(Tyco, 2005)

Abb. 2.3-1b
Grinnell Sprinkler, 1878
(Tyco, 2005)

Abb. 2.3-1c
EconAqua
(Minimax, 2005)

Tab. 2.3-1 Historische Entwicklung der Sprinkleranlagen

1806:	John Carey entwickelt ein System perforierter Rohre, plungers, and burning strings
1874:	Parmelee stellt den ersten modernen Sprinkler vor
1882:	Grinnell läßt einen weiterentwickelten Sprinkler patentieren, der mit einem höheren Betriebsdruck arbeiten kann und eine besseren Wasserverteilung aufweist
1895,	New York: Versicherungen beschließen die ersten Brandschutzrichtlinien
1896:	Gründung von NFPA (National Fire Protection Assotiation) und Veröffentlichung der ersten Richtlinien für die Installation von automatischen Sprinkleranlagen
1980:	Residential Sprinkler (Model FR-1)

Eine Sprinkleranlage besteht im wesentlichen aus Sprinklern mit einem Rohrleitungssystem, den Kontrolleinrichtungen – Alarmventilstationen und der Wasserversorgung. Im Brandfall gibt durch die thermische Einwirkung das Auslöseelement (flüssigkeitsgefüllte Glasampulle, Schmelzlot) des Sprinklers die Düsenöffnung frei. Das Löschwasser prallt auf den Sprühteller und wird gleichmäßig über den Brandherd verteilt. Auf Grund der individuellen thermischen Auslösung der einzelnen Sprinkler wird das Feuer im betroffenen Bereich gelöscht, die restlichen Sprinkler bleiben geschlossen. Ein Wasserschaden wird somit auf ein Minimum reduziert. Gleichzeitig mit der Auslösung der Sprinkleranlage erfolgt die Alarmierung der Rettungskräfte.

Nutzungsbedingt wird bei den Sprinkleranlagen zwischen den Naßanlagen und Trockenanlagen unterschieden (Abb. 2.3-2). Bei einer Naßanlage ist das Rohrnetz vollständig mit unter Druck stehendem Wasser gefüllt. Wenn die Sprinklerampullen platzen, strömt Wasser sofort heraus.

Eine Trockenanlage wird in frostgefährdeten oder hoch temperierten Bereichen eingesetzt. Bei dieser Anlage sind die Sprinklerrohre mit Druckluft gefüllt und das Löschwasser steht nur bis zur Trockenalarmventilstation an. Ein Druckabfall beim Öffnen der Sprinkler bewirkt das Öffnen des Trockenalarmventils, und das Rohrnetz wird geflutet.

Vorgesteuerte Trockenanlage stellt eine Kombination aus Brandmelde- und Sprinkleranlage dar, so dass ein Wasserschäden im Fall einer ungewollten Beschädigung eines Sprinklers verhindert wird. Bevor das Löschwasser austritt, muss zusätzlich die Brandmeldeanlage ansprechen.

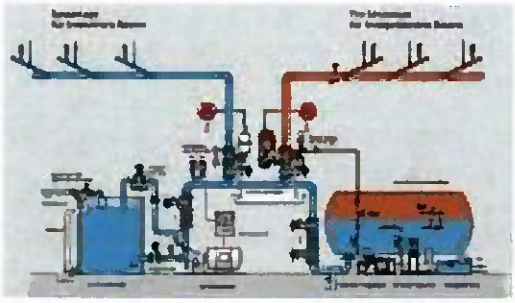


Abb. 2.3-2 Schema einer Nassen- und trockenen Sprinkleranlage (nach Minimax)

Löschwirkung

Nach Emmons (1973) setzten das Entstehen eines Feuers und die anschließende Brandentwicklung das gleichzeitige Vorhandensein von Brennstoff, Sauerstoff und Zündenergie in ausreichenden Mengen voraus (Abb. 2.3-3). Wenn eine dieser Komponente entfällt, wird der Brandvorgang unterbrochen. Auf dieser Erkenntnis basiert der Ansatz aller Brandbekämpfungsmethoden.

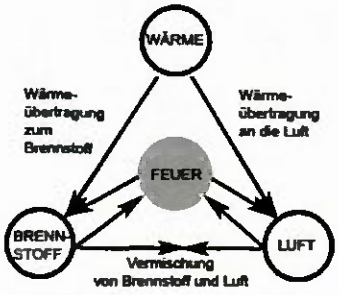


Abb. 2.3-3 Feuer-Dreieck nach Emmons (1973)

Die Löschwirkung des Wassers basiert auf zwei Effekten – Kühlung und Inertisierung. Durch das Wärmebindungsvermögen des Wassers – ein Liter Wasser kann eine Wärmemenge von ca. 2635 KJ binden – kann die freigesetzte Verbrennungswärme des Feuers gebunden und abgeführt werden, die Brandgase und der Brandherd werden gekühlt. Gleichzeitig hat der beim Löschen entstandene Wasserdampf (ca. 1.700-fache Wasserdampfmenge gegenüber dem ursprünglichen Wasservolumen) eine erstickende, inertisierende Wirkung (Tab. 2.3-2).

Tab. 2.3-2 Löschwirkung von Sprinkleranlagen

- die vom Brand noch nicht betroffene Stoffe werden befeuchtet, so dass ihre Zündfähigkeit reduziert wird
- die feine Zerteilung des Wassers führt zu schneller Verdampfung und damit zu einer hohen Kühlleistung
- durch den Kühleffekt wird die Temperaturresistenz der Konstruktion erhöht
- die intensive Verdampfung wirkt inertisierend – der Sauerstoff wird verdrängt
- Brand wird begrenzt
- Brandgase werden von dem fein verteilten Wasser niedergeschlagen.

Die Löschwirksamkeit einer Sprinkleranlage hängt von mehreren Einflußgrößen ab, wie z.B. von der Konstruktion der Sprinkler, ihrer räumlichen Anordnung sowie von den betrieblichen Bedingungen wie z.B. Betriebsdruck. Eine Übersicht der wesentlichen Parameter ist in Tab. 2.3-3 dargestellt.

Tab. 2.3-3 Löschwirksamkeit einer Sprinkleranlage (Kunkelmann, 1995)

Konstruktive Gestaltung des Sprinklers:

- Sprinklergehäuse
- Düse (k-Wert – Wasserstrom des Sprinklers bei 1 bar, Nennwerte)
- Deflektor (Form, Anzahl der Verzahnung): wirkt sich auf die Verteilung der Tropfengröße und ihrer Geschwindigkeit, sowie auf die Sprühkegelform, Flugweite der Tropfen und die Wasserbeaufschlagung aus.
- Das Auslöseverhalten ist Abhängig von der Nennauslösetemperatur, dem Trägheitsindex RTI und dem Wärmeleitfaktor C

Anordnung der Sprinkler:

- Anzahl
- Sprührichtung
- Abstand zwischen dem Sprinkler und Brandlast
- Wasserbeaufschlagung der Brandlast - Vorhandensein von Sprühhindernissen

Betriebsbedingungen:

- Betriebsdruck
- Volumenstrom
- Verwendung von Zusatzstoffen (z.B. Schaummittel)

Sprinkler

Ein Sprinkler - eine Wasserverteilungsdüse ist der wichtigste Bauteil von Sprinkleranlagen. Es gibt eine große Anzahl verschiedener Sprinklertypen. Die Hauptunterscheidungsmerkmale beziehen sich auf die Art der Auslösung, die Öffnungstemperatur, die Wasserverteilung, die Wasserbeaufschlagung u.a.

Bei der Art der Auslösung und der Öffnungstemperaturen der Sprinkler wird grundsätzlich unterschieden zwischen der Auslösung mit einem Glasfaß oder einem Schmelzlot. In der Praxis werden am häufigsten Glasfaßsprinkler eingesetzt, sie decken die Temperaturbereiche von 57 °C bis 141 °C (bzw. 260 °C) ab. Die jeweilige Auslösetemperatur wird von dem in der Ampulle eingeschlossenen Verhältnis von Luft zu Flüssigkeit bestimmt und ist durch die unterschiedlichen Farben der Ampullen erkennbar (Abb. 2.3-4a,b). Die Auslösungstemperatur der Sprinkler liegt üblicherweise ca. 30 °C über der Raumtemperatur.

Eine weitere wichtige Charakteristik der Sprinkler ist ihre Ansprechempfindlichkeit, die durch den RTI-Wert (Response Time Index) ausgedrückt wird. Je niedriger der RTI-Wert ist, desto schneller erfolgt die Auslösung. So wird es zwischen Fast Response-Sprinkler mit RTI-Wert < 50 (3 mm Ampulle) und Standard Response mit RTI-Wert > 80–200 (5-mm Ampulle) unterschieden.

Sprinkler mit schnellerem Ansprechverhalten werden für Bereiche mit hoher Personengefährdung oder mit zu erwartender schneller Brandausbreitung eingesetzt.

Abb. 2.3-4a Auslösemechanismus eines Sprinklers (www.firesprinklers.info)

Abb. 2.3-4b Glasfässchen für verschiedene Auslösetemperaturen und mit unterschiedlichem Ansprechverhalten (Minimax)

Eine weitere anwendungsrelevante Eigenschaft betrifft die Wasserverteilung. Das Sprühbild wird wesentlich von der Form des Sprühtellers (Deflektor) beeinflußt (Abb. 2.3-6).

Wegen der unterschiedlichen Brandrisiken werden Sprinkler mit verschiedenen Wasserleistungen benötigt. Die Wasserleistung wird nach der Formel $Q = K \sqrt{p}$ ermittelt. Dabei ist

Q = Wassermenge in l/min

K = feststehender Ausflußfaktor des Sprinklers bei einem Druck von 1 bar (Düsenkennwert)

p = Druck am Sprinkler in bar

So ist beispielsweise die Wasserleistung von einem Sprinkler mit Anschlußgewinde 1/2" und mit K = 80 bei 1 bar 80 l/min, und bei 2 bar 113 l/min ($Q = 80\sqrt{2}$); Abb. 2.3-5.

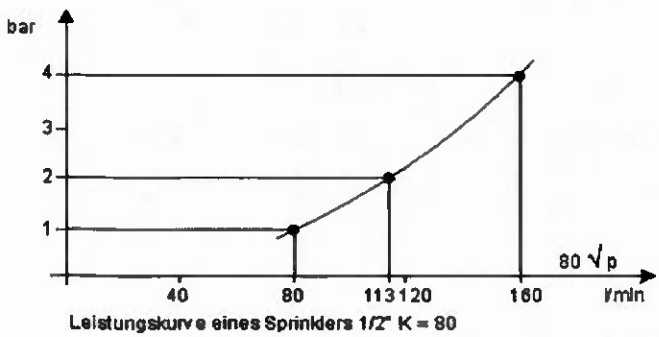


Abb. 2.3-5 Druck-Volumen-Strom-Diagramm [16]

Die einzelnen Sprinklertypen werden je nach Einbautyp und Einbauart gekennzeichnet. Dabei stehen die Buchstaben „S" und „F" für den Einbautyp („S" für Schirmsprinkler und „F" für Flachschirmsprinkler) und die Buchstaben „U" und „P" für die Einbauart des Sprinklers („U" - engl. upright - für stehend, „P" - engl. pendent - für hängend).

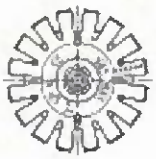
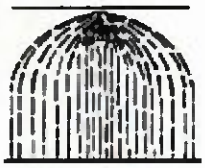
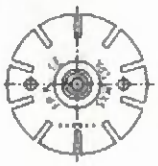
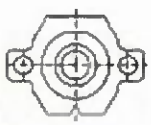
Sprinklertyp	Sprinkler	Sprühteller	Sprühbild
Schirmsprinkler SU, stehend Standardsprinkler für Räume mit sichtbar verlegten Sprinkler-Rohrleitungen, z. B. in Werkhallen und Lagerräumen. Anschlußgewinde R 3/8", K-Wert: 57; Anschlußgewinde R 1/2", K-Wert 80, 115 (Angaben und Abbildung: Minimax)			
Schirmsprinkler SP, hängend Für Räume, in denen die Sprinkler-Rohrleitungen im Hohlraum über abgehängten Decken verlegt sind, z. B. in Warenhäusern und Büros Anschlußgewinde R 1/2", K-Wert 80, 115 (Angaben und Abbildung: Minimax)			
Flachschirmsprinkler FU, stehend Für Räume mit sichtbar verlegten Sprinkler-Rohrleitungen und baulichen Sprühbehinderungen wie z. B. Mauervorsprünge, Trägerkonstruktionen Anschlußgewinde: R 1/2", K-Wert: 80			
Flachschirmsprinkler FP, hängend Für Räume mit Rasterdecken, damit im Brandfall eine ausreichende Wurfweite gewährleistet ist. Anschlußgewinde: R 3/8", K-Wert: 57; Anschlußgewinde: R 1/2", K-Wert: 80 (Angaben und Abbildung: Minimax)			
Seitenwandsprinkler, stehend (upright) Einsatzgebiet: Bei Wandabschlüssen und in Gängen und schmalen RäumenAnschlußgewinde R 1/2"; K-Wert: 80; RTI-Werte Normal RTI 105, Special RTI 55, Quick RTI 35 (Angaben und Abbildung: Jomos)			
Seitenwandsprinkler, hängend (pendent) Anschlußgewinde R 1/2"; K-Wert: 80; RTI-Werte: Normal RTI 105, Special RTI 55, Quick RTI 35 (Angaben und Abbildung: Jomos)			
Weitwurf-Wandsprinkler WWH, horizontal Für Räume, in denen die Sprinkler-Rohrleitungen aus baulichen Gründen nicht an der Decke verlegt sind, z. B. in Hotelzimmern. Anschlußgewinde R 1/2", K-Wert: 80 (Angaben und Abbildung: Minimax)			

Abb. 2.3-6 Sprinklertypen und ihre Sprühbilder am Beispiel der Produkte der Fa. Minimax und Jomos

Die Löschwirkung wird durch die Tropfengröße beeinflußt. Generell ist eine Wasserverteilung mit möglichst großer Wasseroberfläche und damit großem Kühleffekt vorteilhaft, bei einer sehr feinen Zerstäubung können jedoch die feinen Wassertröpfchen bei einem Brand durch die entgegenwirkende Thermik in die Höhe mitgerissen werden, so dass sie den Brandherd nicht erreichen. Für besonders hohe Lager und spezielle Anwendungsfälle wurde deshalb in USA ein sogenannter Großtropfensprinkler (ESFR- und High-Challenge-Sprinkler) entwickelt.

Tab. 2.3-4 Sprinkleranlagen – Technische Parameter

Nennöffnungstemperatur

- wird unter Laborbedingungen (in einem Wasser oder Ölbad mit geregelter Temperatursteuerung) ermittelt
- abhängig von der im Glasfäßchen eingeschlossenen Flüssigkeit (i.d.R. Alkohol) bzw. von dem Schmelzlotmaterial
- liegt etwa 30 °C über der normalen Umgebungstemperatur

Response Time Index (RTI) - Ansprechverhalten

- Maß für thermische Trägheit des Sprinklers
- RTI 80 – 120: Standart-Response oder Normal (5 mm Glasfass)
- RTI 50 – 80: Special-Response oder Spezial (4 mm Glasfass)
- RTI < 50: Quick-Response oder Schnell (3 mm Glasfass)

Wärmeleitfaktor C

- beschreibt die Wärmeableitung vom Auslöseelement an das wassergefüllte Sprinklerrohrnetz

Löschanlage EconAqua, Fa. Minimax

Bei der Econ-Aqua-Löschanlage handelt es sich um eine auf Sprinklertechnologie basierende Niederdruck-Feinsprühlöschanlage mit einem geringen Löschwassereinsatz. Im Vergleich zu der klassischen Sprinklertechnik (Tropfendurchmesser > 1 mm), beträgt der Tropfendurchmesser bei einem Wassernebel < 1 mm (Abb. 2.3-7). Der durchschnittliche Tropfendurchmesser liegt bei ca. 250 mm.

Aufbau und Funktion der EconAqua-Löschanlage der Fa. Minimax entsprechen einer klassischen Sprinkleranlage. Durch die Verwendung von speziellen Feinsprühsprinklern wird das Löschwasser fein versprüht, so dass die Wassermengen wesentlich reduziert werden. Das fein versprühtes Wasser zeichnet sich durch einen starken Kühl- und Stickeffekt aus.

Die Löschanlage ist nach VdS CEA 4001 zugelassen für Risiken LH, OH1 ohne Produktionsrisiken, OH2 – Parkhäuser und Tiefgaragen und Risiken nach Anhang E der Richtlinie (Hochhäuser). Der empfohlene Betriebsdruck liegt bei 5 bis 16 bar. Die Wasserbeaufschlagung nach Angaben des Herstellers beträgt 1,9 mm/min.

Der Vorteil der EconAqua-Löschanlage im Vergleich mit Hochdruck-Wassernebellöschanlagen liegt vor allem in einer einfacheren Ausführung (keine Edelstahlkomponente erforderlich, keine besonderen Anforderungen an Wasserqualität, keine Gefahr einer Verstopfung).

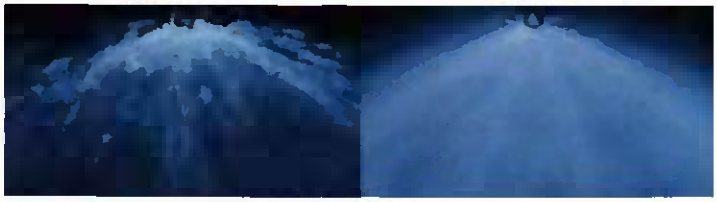


Abb. 2.3-7 Klassische Wasserverteilung (Sprinkleranlage) im Vergleich zum Wassernebel (Minimax)

Residential Sprinkler Systems

Bei den Residential-Sprinkler-Systemen handelt es sich um nasse Anlagen (Wasser am Sprinkler), die in USA, Kanada, Neuseeland und Großbritannien eingesetzt. Die Anwendung und die Planung dieser Systeme sind in nationalen Normen:

- NFPA Standard 13: Installation of Sprinkler Systems
- NFPA Standard 13D
- NFPA Standard 13R: Installation of Sprinkler Systems in Residential Occupancies up to and Including four Stories in Height
- BSI 9251: 2005 Sprinkler Systems for Residential and Domestic Occupancies – Code of Practice
- Installation av boendesprinkler. Rekommendation, Svenska Brandförswarsföreningen, Stockholm, 2002

geregelt.

Ein Testverfahren für die Residential-Sprinkler ist beispielsweise in der Vorschrift der Underwriters Laboratory geregelt. Eine graphische Darstellung der Versuchsanordnung nach diesem Verfahren ist in Abbildung Abb. 2.3-8 (UL Standard 1626).

Abb. 2.3-8a Versuchsanordnung nach dem Verfahren UL 1626

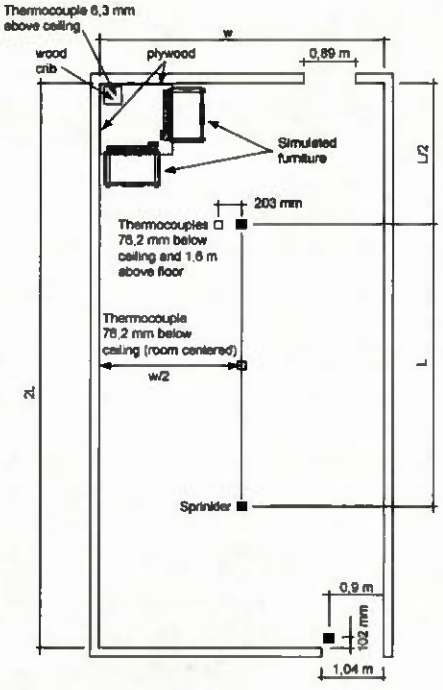


Abb. 2.3-8b Versuchsanordnung nach dem Verfahren UL 1626

Residential Sprinkler gehören zu der Gruppe der „fast response"-Sprinkler mit einem RTI-Wert < 50 und wurden für den Einsatz in Wohngebäuden und Hotels entwickelt. Sie werden als Naßanlagen betrieben. Der K-Faktor liegt je nach Sprinkler bei ca. 60-70, die Auslösetemperatur bei ca. 57-79 °C. Als Beispiel ist eine Auswahl der Sprinkler der Fa. Tyco in Tab. 2.3-5 zusammengestellt. Diese Sprinkler sind für eine Schutzfläche (maximale Fläche pro Sprinkler) von 3,7x3,7 m bis 20x20 m zugelassen. Mit der Vergrößerung der Schutzfläche ist es erforderlich, den Wasserdurchfluß (ca. 49 l/min bis 90 l/min) und den Arbeitsdruck (ca. 0,48 bar bis 2,25 bar) zu erhöhen.

Tab. 2.3-5 Residential Sprinkler – Produktauswahl Fa. Tyco

Sprinkler	Abbildung, Funktionsskizze	Parameter
Pendent Sprinkler		K-Wert: 70,6 Auslösetemperatur: 68 °C oder 79 °C Schutzfläche: 3,7x3,7 m (49,2 l/min; 0,48 bar) 6,1x6,1 m (75,7 l/min; 1,15 bar)
Flush pendent Sprinkler		K-Wert: 60,5 Auslösetemperatur: 72 °C Maximale Fläche: 3,7x3,7 m (49,2 l/min; 0,66 bar) 6,1x6,1 m (83,3 l/min; 1,89 bar)
Concealed pendent Sprinkler		K-Wert: 70,6 Auslösetemperatur: 71 °C oder 57 °C Maximale Fläche: 3,7x3,7 m (49,2 l/min; 0,66 bar) 6,1x6,1 m (90,8 l/min; 2,25 bar)
Flat plate Sprinkler		K-Wert: 60,5 Auslösetemperatur: 68 °C oder 57 °C Maximale Fläche: 3,7x3,7 m (49,2 l/min; 0,48 bar) 6,1x6,1 m (75,7 l/min; 1,15 bar)
Sidewall Sprinkler		K-Wert: 60,5 Auslösetemperatur: 68 °C oder 79 °C Maximale Fläche: 3,7x3,7 m (45,4 l/min; 0,57 bar) 3,7x6,1 m (87,1 l/min; 2,07 bar)

2.3.1.2 Wassernebellöschanlagen

Wassernebellöschanlagen sind Sprühwasser-Löschanlagen, die das Wasser in fein verteilter Form versprühen und in einem Dauer- oder Intervallbetrieb arbeiten können. Im Vergleich zu den Sprinkleranlagen, deren Löscheffekt vor allem in der Kühlwirkung der größeren Wassertropfen auf der brennenden Oberfläche basiert, betreffen die wesentlichen Löscheffekte von Wassernebel nach Schremmer (1996) vor allem

- die Ausbildung einer lokalen Inertisierung (Sauerstoffverdrängung) am Brandherd infolge der Verdampfung
- Kühlwirkung durch Verdampfung in der Reaktionszone und an der Grenzfläche Flammensäule / Heißgasströmung
- Verdünnung der Reaktionszone durch Verdampfung und einer entsprechenden Dichte an Wassertropfen
- Verhinderung der Strahlungswärmerückkopplung durch Sedimentation der Wassertropfen in der Verbrennungszone und durch den Trenneffekt.

Um einen wirksamen Löscheffekt zu erreichen, ist eine ausreichende Dichte der Wassertropfen und ihre möglichst homogene Verteilung innerhalb des Tropfenschwarmvolumens erforderlich. Nach Angaben von Schremmer (1996) liegt eine von der Wärme unabhängige Mindestlöschwassermenge im Löschmittelstrahl bei 0,6 l/m³.

Ein weiterer wichtiger Einflußparameter bezüglich der Löschwirkung stellt in diesem Zusammenhang die Tropfengröße dar. Nach Untersuchungen von Kunkelmann (1995) kann das Löschwasser mit Tropfen unter 1000 μm durch

Schwerkraft im Fall einer geringen Wärmefreisetzung auf den Brandherd gebracht werden. Kleinere Tropfen sollten daher im Zuluftstrom – d.h. zum Brandherd seitlich geführt werden. Unter Berücksichtigung der Reaktionen an der Grenzfläche Flammensäule/Heißgasströmung liegt eine wirksame Tropfengröße zwischen 10 bis 400 μm. In Bezug auf die technischen Parameter der Düsen wird als Grenzwert für die kleinste erreichbare Tropfengröße der Düsendruck von 60 bis 70 bar gesehen, da eine weitere Druckerhöhung zur Verringerung der Tropfengröße nicht mehr effizient ist.

Wassernebellöschanlagen werden als Nieder- Mittel- und Hochdruckanlagen hergestellt. Für eine Verwendung im Wohnungsbau kommen allerdings nur Niederdruckanlagen in Betracht (Kunkelmann 1998). Ihre Vorteile liegen vor allem darin, dass hier auf die bewährte Anlagentechnik von konventionellen Wasserlöschanlagen zurückgegriffen werden kann und ein direkter Anschluss an die vorhandenen Wasserversorgungsnetze bzw. eine Feuerwehr-Noteinspeisung möglich ist.

2.3.1.3 Sonstige automatische Löschanlagen

Andere bekannten Löschsysteme z.B. Gaslöschsysteme sind aufgrund ihrer gesundheitsschädlichen Wirkung für den Einsatzzweck nicht geeignet.

2.3.1.4 Anforderungen an Löschanlagen für den Wohnungsbau

Für einen Einsatz im Wohnungsbau kommen nur Wasserlöschanlagen in Betracht. Um die Brand- und Folgeschaden möglichst gering zu halten, muss die Löschanlage so dimensioniert werden, dass ein möglicher Brand bereits in der Entstehungsphase erkannt und bekämpft wird. Grundsätzlich sind bei einem Einsatz von stationären automatischen Wasserlöschanlagen im Wohnungsbau folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- schnell ansprechende Anlage, so dass die Brandentwicklung in einem möglicht frühen Stadium unterbrochen wird (z.B. schnell ansprechende Sprinkleranlage RTI < 50
- möglichst geringe Löschwassermenge (Niederdruck-Wassernebellöschanlagen, schnell ansprechende Sprinkleranlagen)
- niedrige Kosten der Anlage
- einfache technische Lösungen (Anschluss an vorhandene haustechnische Anlagen).

Die im Rahmen von diesem Projekt durchgeführten Untersuchungen hatten u.a. zum Ziel, die aufgelisteten Kriterien für den Anwendungsfall mehrgeschossiger Wohnungsbau in Holzbauweise zu konkretisieren.

2.3.2 Brandmeldeanlage im privaten Bereich

In den letzten Jahren werden auch in den mitteleuropäischen Ländern Bestrebungen deutlich, den Rauchmeldern im privaten Bereich eine breitere Akzeptanz zu verschaffen - in den angelsächsischen und nordischen Ländern und in USA, Kanada gibt es die Akzeptanzprobleme nicht.

Nach den Schätzungen der NFPA haben in den USA etwa 93 % aller Haushalte mindestens einen sogenannten Haushaltrauchmelder installiert.

In Großbritannien wurde 1992 durch die Buildings Regulations eine gesetzliche Rauchmelderpflicht eingeführt, die für alle neuen Gebäude mindestens einen Rauchmelder pro Etage fordert. Diese Rauchmelder müssen netzbetrieben und über eine separate Absicherung angeschlossen sein. Die Melderverbreitung

lag 1987 bei etwa 9 % und ist inzwischen bis auf ca 75 % gestiegen. Seit 1987 sank die Anzahl der Brandtoten um etwa 27 %. In 1987 waren etwa 9%, 1998 etwa 75% der britischen Haushalte mit Meldern ausgestattet. Die Zahl der Brandtoten sank in Großbritanien seit 1987 um ca. 40 %.

In Schweden, wo etwa 70 % aller Haushalte mit Meldern ausgestattet sind, wurde seit den 70en Jahren eine Verringerung der Zahl der Brandopfer um 50 % registriert.

In Deutschland sind Rauchmelder bereits Pflicht in mehreren Bundesländern. Eine Rauchmelderpflicht für alle Neubauten mit Wohnnutzung führte als erstes Bundesland Rheinland-Pfalz in 2003 ein. Später wurde Rauchmelderpflicht auch in Saarland, Schleswig-Holstein, Hessen, Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern eingeführt (Tab. 2.3-6).

In diesem Zusammenhang schreibt beispielsweise die Landesbauordnung (LBauO) Rheinland-Pfalz im § 44 Abs. 8 vor: *„In Wohnungen müssen Schlafräume und Kinderzimmer sowie Flure, über die Rettungswege von Aufenthaltsräumen führen, jeweils mindestens einen Rauchwarnmelder haben. Rauchwarnmelder müssen so eingebaut und betrieben werden, dass Brandrauch frühzeitig erkannt und gemeldet wird."*

Tab. 2.3-6 Rauchmelderpflicht in Deutschland

Bundesland	Landesbauordnung	Datum	Bemerkung
Rheinland-Pfalz	§ 44 Abs. 8 (LBauO RP)	22.12.03	Landesbauordnung des Landes Rheinland-Pfalz Gilt für Neu- und Umbauten von Wohnungen.
Saarland	§ 46 Absatz 4 (LBauO)	18.2.04	Landesbauordnung Saarland Gilt für Neu- und Umbauten von Wohnungen.
Schleswig-Holstein	§ 52 Absatz 7 (BauO S-H)	1.1.05	Landesbauordnung Schleswig-Holstein Gilt für Neu- und Umbauten von Wohnungen. Zusätzlich müssen bis Ende 2009 alle bestehenden Wohnungen des Bundeslandes über Rauchwarnmelder verfügen.
Hessen	§ 13 Absatz 5 (HBO)	24.6.05	Hessische Bauordnung Gilt für Neubauten mit Wohnnutzung. Zusätzlich müssen bis Ende 2014 alle bestehenden Wohnungen des Bundeslandes über Rauchwarnmelder verfügen.
Hamburg	§ 45 Absatz 6 (HBauO)	7.12.05	Hamburgische Bauordnung Gilt für Neu- und Umbauten von Wohnungen. Zusätzlich müssen bis Ende 2010 alle bestehenden Wohnungen des Bundeslandes über Rauchwarnmelder verfügen.
Mecklenburg Vorpommern	§ 48 Absatz 4 (LBauO)	18.4.06	Meckl.-Vorpomm. Landesbauordnung- Gilt für Neu- und Umbauten von Wohnungen. Zusätzlich müssen bis Ende 2009 alle bestehenden Wohnungen des Bundeslandes über Rauchwarnmelder verfügen.

Die heute im Handel angebotenen Rauchmelder repräsentieren einen hohen technischen Standard. Fast alle Rauchmelder funktionieren nach dem Grundprinzip der Streulichtmessung –in einer Meßkammer befindet sich eine Lichtquelle und ein Fotoempfänger, die so zueinander angeordnet sind, daß das Licht der Lichtquelle den Fotoempfänger nicht direkt erreichen kann. Wenn der Rauch in die Meßzelle gelangt, wird das Licht an den Rauchpartikeln gestreut und Teile des Streulichtes können die Fotozelle erreichen. Als Energieversorgung dient in den meisten Fällen eine 9 V Batterie.

Rauch(Home)-Melder mit einer Betriebsspannung von 12 Volt können an eine Alarmanlage angeschlossen werden; sie sind in Deutschland kaum verbreitet. Für Neubauten können 220/230-Volt-Rauchmelder verwendet werden; Vorraussetzung ist, daß die Elektroinstallation des Hauses entsprechend geplant und die Arbeiten von Fachfirmen ausgeführt werden.

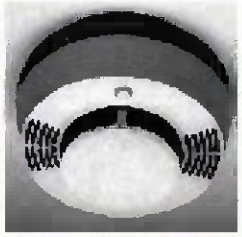


Abb. 2.3-9 Rauchmelder

Melder, die mit der Erkennung von Rauch arbeiten, sollten grundsätzlich an der obersten Stelle des Raumes installiert werden.

In Privathaushalten sollte ein Brandmelder in einem zentral gelegenen Raum, wie beispielsweise im Flur platziert werden. Bei der Montage im Dachspitz darf der Melder nicht am obersten Punkt (im Spitz) angebracht werden, weil hier nur eine stark reduzierte Luftbewegung stattfindet. Dies hat zufolge, dass der Melder erst verspätet den Alarm auslöst. Ein Melder in einem spitz zulaufenden Dachraum sollte daher an einem niederen Dachbalken oder an der Dachschräge angebracht werden.

Melder sollten sich auch in der Nähe der Schlafbereiche befinden, um Schlafende auf eine drohende Gefahr hinzuweisen und in den Kinderzimmern. In mehrgeschossigen Gebäuden sollte in jeder Etage mindestens ein Brandmelder installiert sein.

Küchen und Bäder sollten aus der Überwachung ausgenommen werden, weil Wasserdampf zu Fehlalarmen führen kann. Probleme mit Fehlalarmen können auch durch Wartungsmängel und schlechte Einstellungen entstehen.

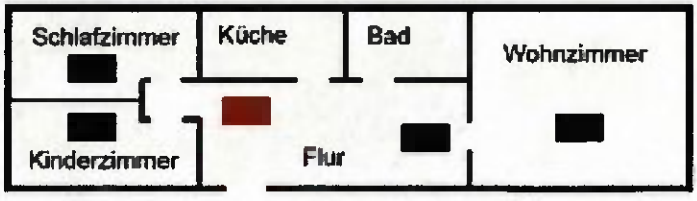


Abb. 2.3-10 Empfohlene Anbringungsstellen für Rauchmelder (rot - Mindestschutz, schwarz –Maximalschutz).

Geräte für die Verwendung in den Wohnungen müssen den „Regeln allgemein anerkannter Technik" genügen. Es dürfen nur Rauchmelder nach DIN EN 14604 eingesetzt werden, bei denen gewährleistet ist, dass das Eindringen Rauch von allen Seiten gleich gut ist. Sie müssen mit einem Alarmton von mindestens 85 dBA und einer Warnmeldung bei Nachlassen Batterie mindestens 30 Tage ausgestattet sein.

Rauchmelder für die Wohnnutzung können
- batteriebetrieben (Heimrauchmelder)
- netzbetrieben (230-Volt Melder)
- funkvernetzt

ausgeführt werden.

Die Montageanforderungen sind in DIN 14676 definiert:
- Rauchwarnmelder müssen vom Brandrauch ungehindert erreicht werden können
- Ausstattungspflicht: Schlaf-/Kinderzimmer, Fluchtwege (Flure)
- Montage an der Decke und in Raummitte 50 cm von der Wand
- Küchen und Naßräume müssen nicht zwingend ausgestattet werden
- Ausstattung von Fluren, Gängen und L-förmigen Räumen ist in der Norm besonders geregelt.

Wartungsanforderungen an Rauchmelder nach DIN 14676 (mindestens einmal jährlich oder nach Herstellerangaben)
- Sichtprüfung: Überprüfung, ob die Raucheindringöffnung frei ist (Verschmutzung durch Flusen und Stäube) oder eine Beschädigung vorliegt
- Alarmprüfung: Probeweise Alarm über die Prüftaste auslösen
- Batteriewechsel: (jährlich oder nach Angabe bis zu 10 Jahre)

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von automatischen Löschanlagen in einem Wohngebäude ist eine gleichzeitige Installation von Rauchmeldern nicht nur als Personenschutz sinnvoll, sondern sie können bei einer abhängigen Auslösung auch als eine zusätzliche Maßnahme gegen Fehlauslösung der Sprinkleranlage eingesetzt werden.

2.5 Zielsetzung

Die Umweltprobleme machen deutlich, dass die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Eine stärkere Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen ist wünschenswert und wichtig.

Zu den aktuellen Fragestellungen gehört in diesem Zusammenhang nicht nur eine konstruktive, materialtechnische und bauphysikalische Optimierung, sondern auch die Fragen der Brandsicherheit. Die Verwendung von Holz ist zur Zeit - trotz der neuen bauordnungsrechtlichen Regelungen - im Vergleich zu anderen Baustoffen aus brandschutztechnischen Gründen nur eingeschränkt möglich.

Wenn bei größeren Bauvorhaben und Sondernutzungen im Fall einer materialtechnischen Sonderlösung, die den aktuellen Vorschriften nicht entspricht, auf den anlagentechnischen Brandschutz als Kompensationsmaßnahme zurückgegriffen wird, wir dies in bestimmten Anwendungsfällen bei den gegebenen technischen Anforderungen als nicht praktikabel betrachtet. Dies betrifft beispielsweise den mehrgeschossigen Wohnungsbau, wobei hier Holz als Baustoff aufgrund seiner Eigenschaften prädestiniert ist.

Das Ziel des Projektes besteht darin, für mehrgeschossige Wohngebäude in Holzbauweise die Grundvoraussetzungen für ein einfaches, kostengünstiges und wirksames System zur aktiven Brandbekämpfung zu definieren. Hierzu müssen nicht nur die Gefahren in einem Brandfall berücksichtigt werden, sondern auch die spezifische bauliche Situation (Wohnungsbau) sowie die gängigen, vorhandenen haustechnischen Systeme und die Möglichkeiten ihrer technischen Modifizierung. Die hygienischen Vorschriften werden ebenfalls in Betracht gezogen. Als wesentliches Kriterium - neben einer einfachen technischen Ausführung und einer wirksamen Löschwirkung - wurde die Minimierung eines Löschwasserschadens festgelegt.

3 Wasserführende Anlagensysteme in Wohngebäuden

3.1 Heizungssystem

In der Regel werden Wohnbauten – mit Ausnahme von Passivhäusern mit ausschließlicher Zuluftheizung – über ein Pumpenwarmwasser-Heizungssystem mit der benötigten Heizwärme versorgt. Über wohnungsweise Verteiler, die an die Vor- und Rücklaufstrangleitungen angeschlossen sind, werden die Heizkörper bzw. Fußbodenheizkreise angeschlossen. Die Vorlauftemperaturen liegen im Auslegungsfall bei Heizkörpern um etwa 70°C, bei Fußbodenheizung um ca. 40°C.

Aus mehreren Gründen ist die Verwendung des Heizungssystems als Leitungsnetz für ein vereinfachtes Sprinklersystem nicht geeignet. Zum einen besteht bei der Auslösung eines Sprinklers die Gefahr, dass im Sprühbereich stehende Personen durch das Heizwasser verbrüht werden. Außerdem ist das Wasservolumen in einem Heizungsrohrnetz gering, so dass eine Wassernachspeisung erforderlich wäre. Ein weiteres Ausschlusskriterium ist der schnelle Druckverlust – der zusätzlich zu der Nachspeisung eine Druckerhöhung bedingen würde – sowie der hohe Druckverlust in den tendenziell niedrigen Leitungsquerschnitten.

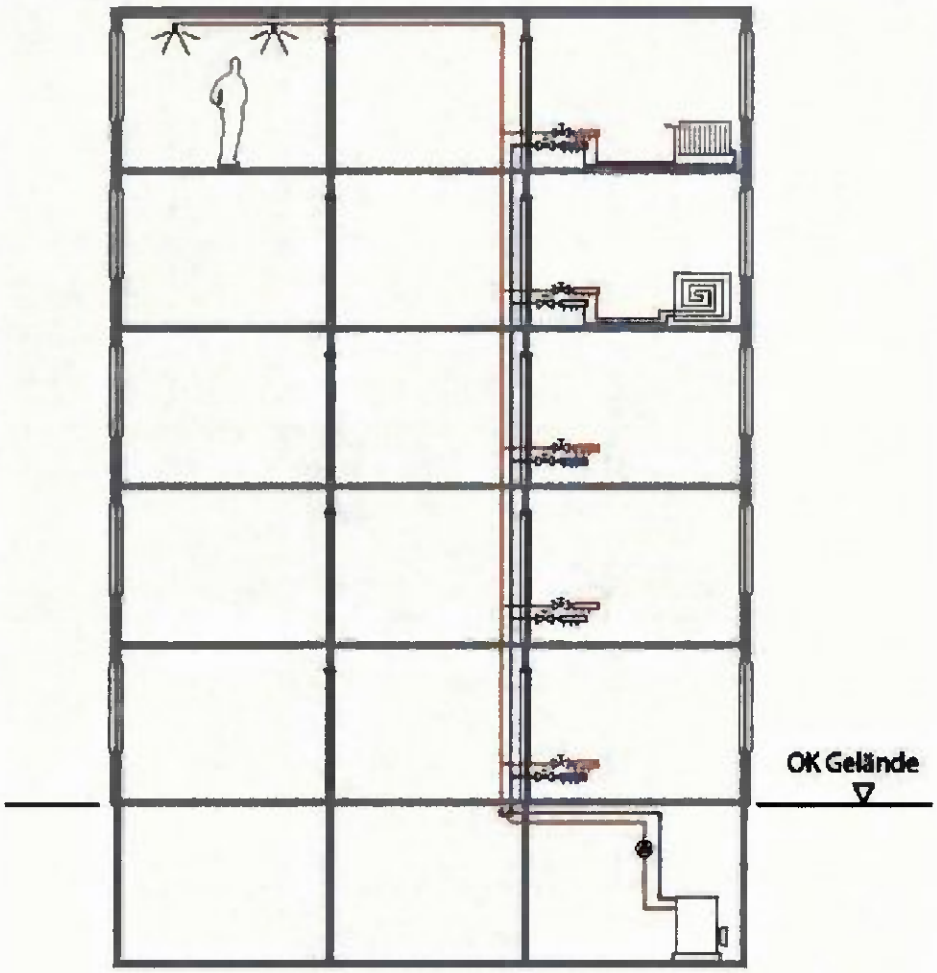


Abb. 3-1 Wasserführende Anlagensysteme in Wohngebäuden. Heizungssystem

3.2 Trinkwarmwasser

Da die Temperatur des Trinkwarmwassers aus Schutz vor Legionellen über 60°C betragen kann, ist auch die Verwendung von Trinkwarmwasser zur Sprinklerung mit einer Gefährdung von Personen verbunden. Weiterhin sind die Leitungsquerschnitte geringer als bei den nachfolgend diskutierten Kaltwasserleitungen.

Das Trinkwarmwassersystem wird deshalb für einen Einsatz in einem vereinfachten Sprinklersystem als nicht geeignet eingestuft.

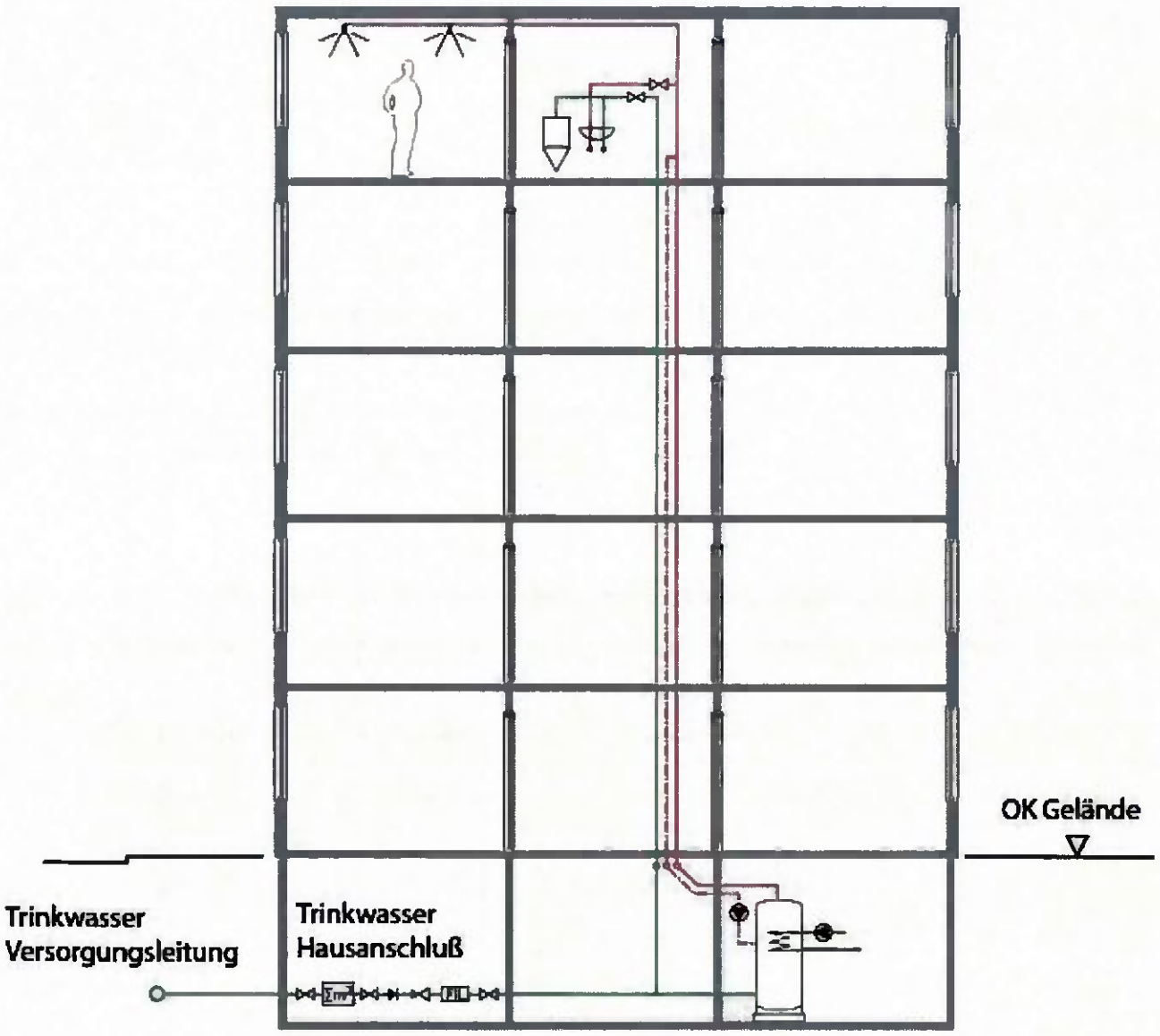


Abb. 3-2 Wasserführende Anlagensysteme in Wohngebäuden. Trinkwarmwasser

3.3 Trinkwasser (kalt)

Das Leitungsnetz des kalten Trinkwassers weist größere Leitungsquerschnitte auf als das Warmwassernetz. Die Temperaturen des kalten Trinkwassers liegen im Mittel um etwa 10°C und sind somit für die Bewohner eines Gebäudes ungefährlich. Meist liegt der Versorgungsdruck am Hausanschluss bei etwa 4 bar, die Versorgung erfolgt aus dem öffentlichen Trinkwasernetz.

Von den betrachteten Anlagensystemen ist das Kaltwasser-Leitungsnetz das geeignetste für weitere Untersuchungen und Überlegungen zur Verwendung für ein vereinfachtes Sprinklersystem in einem Wohngebäude.

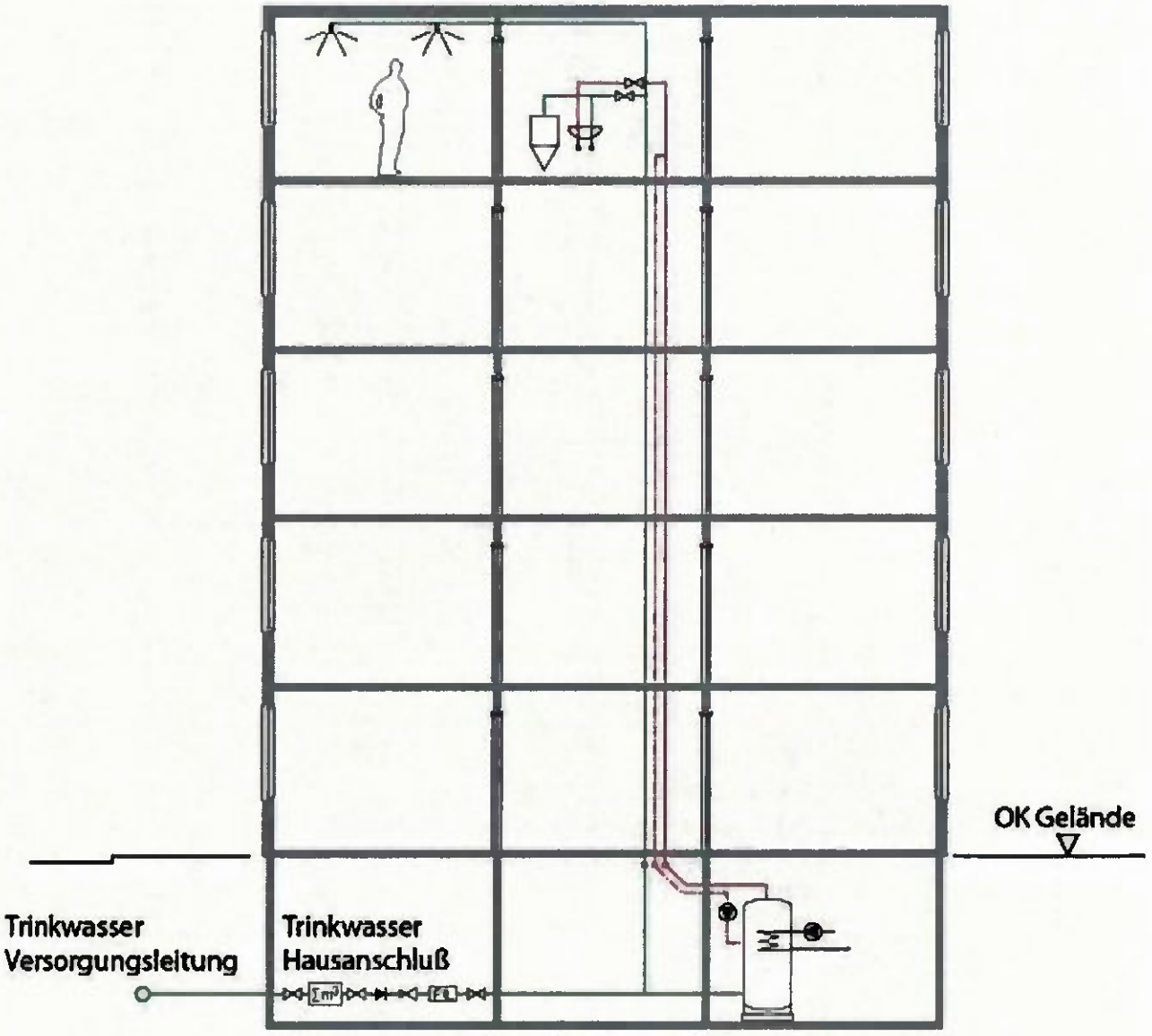


Abb. 3-3 Wasserführende Anlagensysteme in Wohngebäuden. Trinkwasser (kalt)

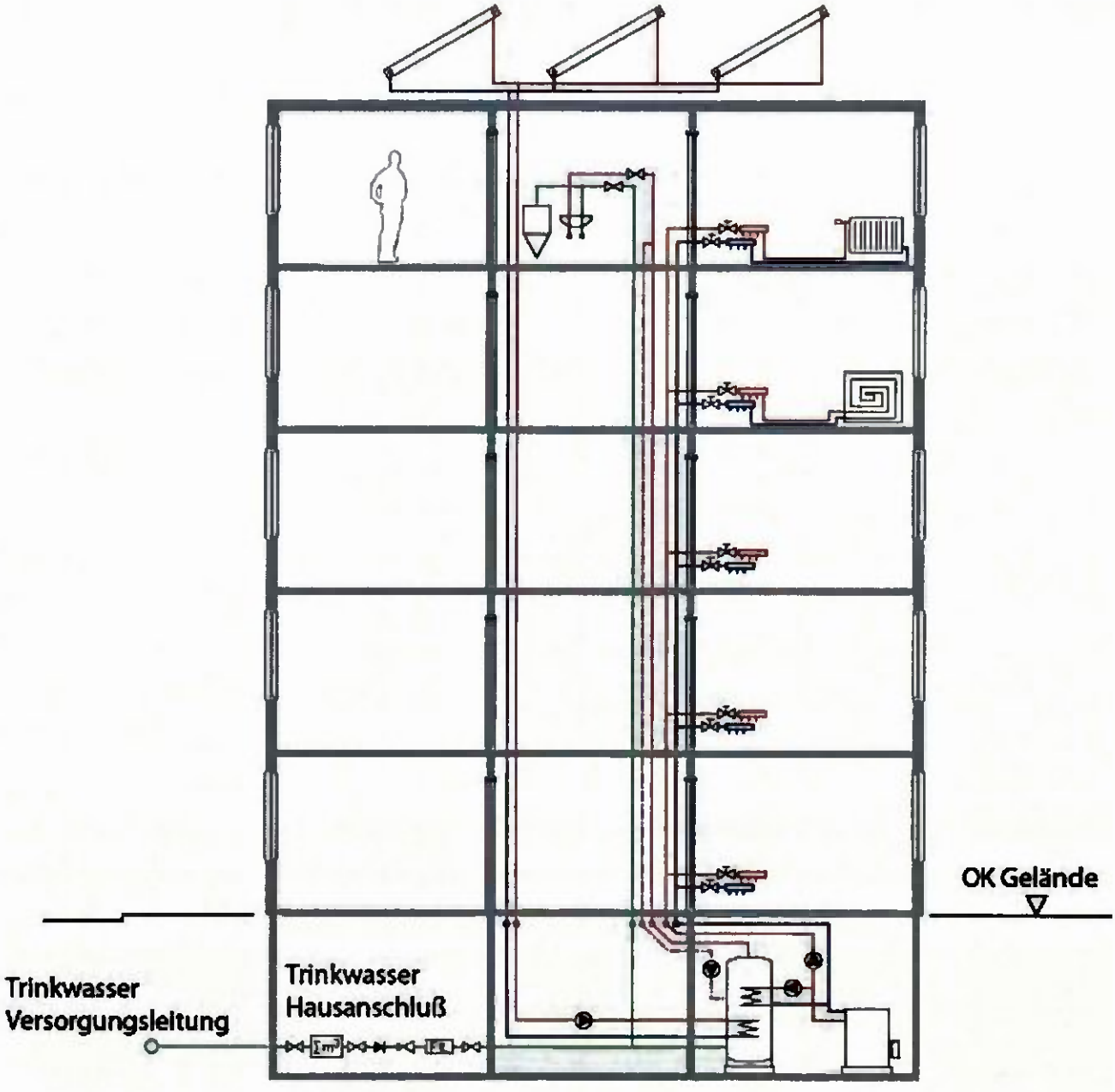


Abb. 3-4 Wasserführende Anlagensysteme in Wohngebäuden. Anlagenschema.

4 Arbeitsmethodik und meßtechnische Untersuchungen

Die Analysen haben gezeigt, dass zu den wesentlichen Parameter einer Löschanlage für mehrgeschossigen Wohnungsbau im Holzbauweise gehören:

- möglichst geringe erforderliche Löschwassermenge bei nachweisbarer Effizienz
- einfache und kostengünstige Montage und Betrieb
- sichere Anwendung in Bezug auf Vermeidung von unbeabsichtigten Schäden

In diesem Zusammenhang wurden zwei Versuchsserien durchgeführt:
Die erste Versuchsserie wurde mit dem Ziel durchgeführt, die technischen Kriterien für eine Löschanlage hinsichtlich der Wasserversorgung und Wasserverteilung festzulegen und geeignete handelsübliche Komponente auszuwählen. Hierfür wurde eine Testanlage in einem Labor des Lehrstuhls für Bauklimatik und Haustechnik an der Technischen Universität München aufgebaut.

In der zweiten Versuchsserie wurden Brandversuche durchgeführt, um die Aussagen zu der erforderlichen Ausführung der Löschanlagen treffen zu können, sowie um den Einfluß unterschiedlicher Ausführung der Räume mit brennbarer oder nichtbrer Bekleidung zu untersuchen.

4.1 Wasserversuche

Für die Untersuchungen wurden handelsübliche Sprinkler verwendet (Abb. 4.1-1) Da das Ziel des Forschungsprojektes ist es, die Grundvoraussetzungen eine Löschanlage für eine neue, bis jetzt nicht geregelte Anwendung zu formulieren, wurden die Sprinkler eigenen Tests unterzogen. Die Vorgaben des Herstellers sowie die geltenden Vorschriften für die Planung der Löschanlagen wurden in dieser Phase nicht berücksichtigt.

Abb. 4.1-1 Sprinkler-Auswahl für die 1. Versuchsserie
Hersteller: Minimax (Foto Ch. Schiebel)

4.1.1Versuchsserie: Wasserverteilung, Durchfluß, Druck

Unter Berücksichtigung des Einsatzes der Löschanlage in Wohngebäuden in Holzbauweise wurden als wesentliche Kriterien ein möglichst geringer Wassereinsatz in Verbindung mit einem Betriebsdruck < 5 bar festgelegt. Durch diese Voraussetzungen sollte ein Wasserschaden reduziert werden und ein Anschluß an die Hauswasserversorgung ermöglicht werden. Als Bezugsgröße wurde eine Schutzfläche von 16 m² (4x4 m) gewählt. Diese Fläche entspricht einem Modellzimmer, und diese Raumgröße wurde auch bei den Brandversuchen eingesetzt.

Um ein geeignetes Sprinklertyp auszuwählen wurde eine vereinfachte Prüfvorrichtung aufgebaut, um den Durchfluß und Wasserverteilung zu bestimmen. Das Leitungssystem wurde aus verzinkten Wasserröhren Durchmesser 1 Zoll hergestellt. Innerhalb des Systems wurde ein Axial-Turbinen-Durchflußmesser der Fa. Ahlborn mit einem Meßbereich von 4 bis 160 l/min

eingebaut, der eine direkte Datenerfassung ermöglicht hat (Abb. 4.1-2). Der Druck am Sprinkler wurde durch einen Druckaufnehmer deer Fa. Ahlborn mit einem Messbereich von 0 bis 6 bar reguliert und erfasst (Abb. 4.1-3). Die Wasserversorgung wurde durch eine Anbindung an eine Trinkwasserleitung Durchmesser 2 Zoll sichergestellt, so dass der Wasserdruck am Sprinkler bis zu 5 bar eingestellt werden konnte.

Für die Bestimmung der Wasserverteilung wurden auf einer Fläche von 4x2 m (1/2 Schutzfläche) Auffangwannen aufgestellt (Abb. 4.1-4). Die Abmessungen der Auffangwannen betrugen 49x29 cm.

Abb. 4.1-2 Leitungssystem mit Axial-Turbinen-Durchflußmesser (Fa. Ahlborn)

Abb. 4.1-3 Druckmessung

Abb. 4.1-4 Versuchsanordnung zur Bestimmung der Wasserbeaufschlagung (Foto W. Nowak)

4.1.2 Sprinklerserie 1

Die erste Versuchsserie wurde mit Sprinklern durchgeführt, die in VdS zugelassenen Sprinkleranlagen für verschiedene Brandrisiken eingesetzt werden (Abb. 4.1-1). Diese Versuchsserie wurde ohne Brandbelastung durchgeführt, die Auslösetemperatur der Sprinkler war somit nicht von Bedeutung.

Wie aus den nachstehenden Diagrammen ersichtlich ist, ist die Wasserverteilung für jeden Sprinklertyp charakteristisch. Der Sprühteller hat die Aufgabe, das ausströmende Wasser in kleine Tröpfchen zu verteilen. Dadurch wird erreicht, dass die Wasseroberfläche vergrößert und eine schnelle Wärmebindung erzielt wird. Für die Form des Sprühtellers ist die Einbaurichtung in das Rohrnetz (hängend, stehend) und die erforderliche Wasserverteilung innerhalb des Schutzbereiches maßgebend.

Nach Anwendung und Einsatzgebiet wird zwischen vier verschiedenen Sprinklern unterschieden (siehe auch Kapitel 2):

- Flachschirmsprinkler
- Schirmsprinkler
- Normalsprinkler
- Seitenwandsprinkler

Um einen Vergleich hinsichtlich der Wasserverteitlung zu bekommen, wurden orientierende Versuche mit Schirmsprinklern, Flachschirmsprinklern und Normalsprinklern bei variierten Druck durchgeführt.

Sprinkler 1: Schirmsprinkler, hängend

Dieser Sprinklertyp bildet ein paraboloidförmiges, zum Boden gerichtetes Sprühbild. Das Hauptanwendungsgebiet ist der Warenschutz in Kaufhäusern, Garagen, Fabrikhallen, Bürogebäuden, Lagerhallen u.ä.. Der Schirmsprinkler ist daher die am häufigsten verwendete Sprinklerart.

Die nachstehenden Grafiken in Abb. 4.1-7 zeigen, dass bei einem geringen Druck von ca. 0,1 bar die maximale Wassermenge im Radius von ca. 1,5 m anfällt. Mit höheren Druck steigt der Radius mit den maximalen Wassermengen, so dass er ab ca. 0.6 bar auf der Meßfläche praktisch nicht mehr erfassbar war, die Wassermengen im Bereich unmittelbar unter dem Sprinkler blieben bei allen Versuchen sehr gering.
Der mittlere Durchfluß bei 1 bar betrug ca. 79 l/min.

Abb. 4.1-5 Sprinkler 1 (Schirmsprinkler 21 MX5-SP-K 80, 68 °C) Hersteller: Minimax (Foto Ch. Schiebel)

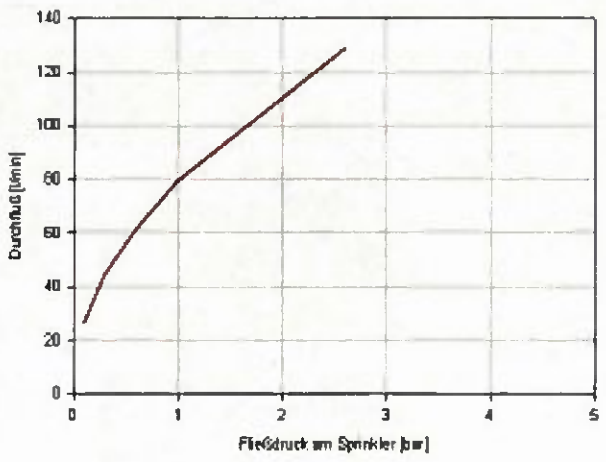


Abb. 4.1-6 Druck-/Druchflußdiagramm - Sprinkler 1 (SP)

Bei einem Raum von 4x4 m ist beim höheren Druck von einer starken Beaufschlagung der Raumwände auszugehen. Eine Reduzierung der Wassermenge kann jedoch dazu führen, dass das Feuer „überläuft".

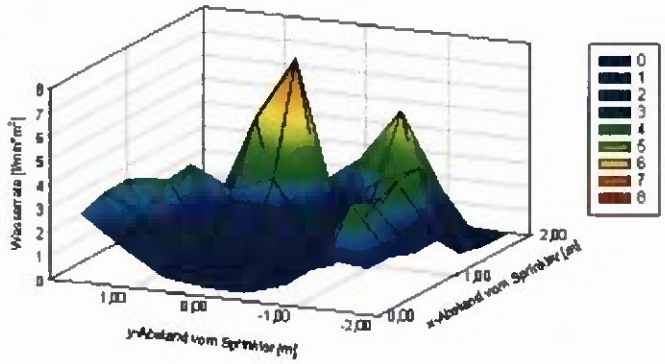


Abb. 4.1-7a Sprühbild Sprinkler 1 (SP) bei 0,10 bar, mittlerer Durchfluß 26,6 l/min

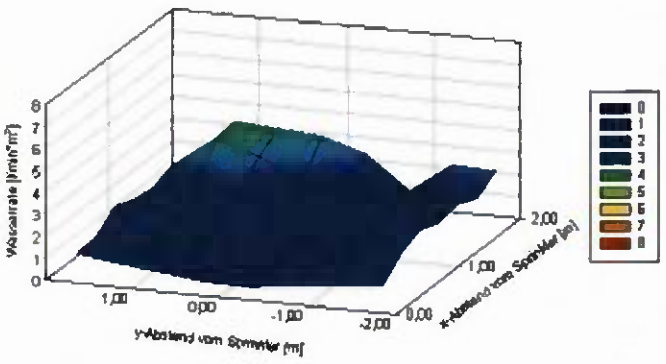


Abb. 4.1-7b Sprühbild Sprinkler 1 (SP) bei 0,28 bar, mittlerer Durchfluß 44,5 l/min

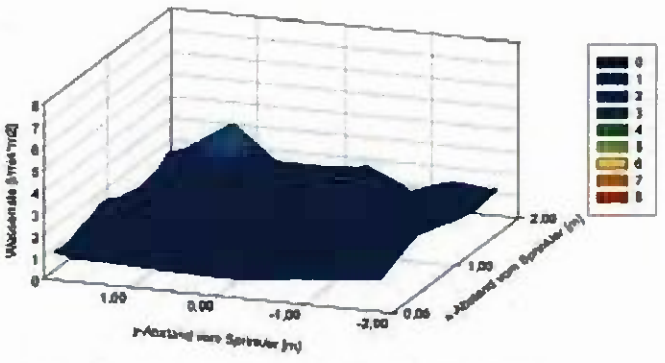


Abb. 4.1-7c Sprühbild Sprinkler 1 (SP) bei 0,62 bar, mittlerer Durchfluß 61,6 l/min

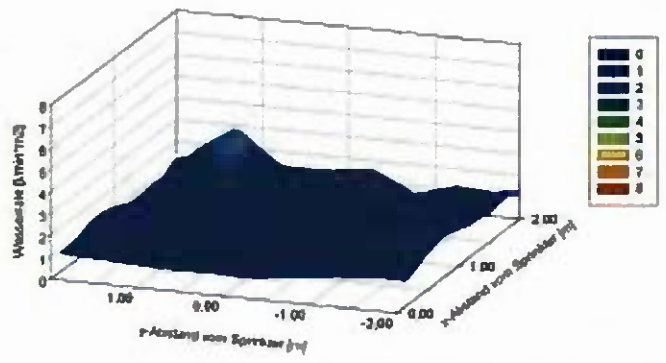


Abb. 4.1-7d Sprühbild Sprinkler 1 (SP) bei 1,01 bar, mittlerer Durchfluß 79,6 l/min

Abb. 4.1-8 Sprinkler 1 (SP). Sprühbild bei 0,5 bar, mittlerer Durchfluß 79,6 l/min (Foto Ch. Schiebel)

Sprinkler 2: EconAqua, hängend

Bei diesem Sprinkler handelt es sich um einen speziellen Sprinklertyp, der so konstruiert ist, dass das Löschwasser besonders fein versprüht wird und eine kompakte, nebelartige Atmosphäre entsteht (Abb. 4.1-11). Im Vergleich zum Schirmsprinkler ist die Wasserverteilung fallen die höchsten Wassermengen im Bereich unter dem Sprinkler auf (Abb. 4.1-12). Die Durchflußmengen sind sehr gering und liegen bei 5 bar bei ca. 30 l/min. Nach Angaben des Herstellers ist ein Betriebsdruck von mindestens 5 bar erforderlich.
Diese Anlagen werden in Büro- und Verwaltungsgebäude, Hotels, Pflegeeinrichtungen, Restaurants und Tiefgaragen verwendet.

Abb. 4.1-9 Sprinkler 2
EconAqua-P-MX3, 68 °C
Hersteller: Minimax
Foto Ch. Schiebel

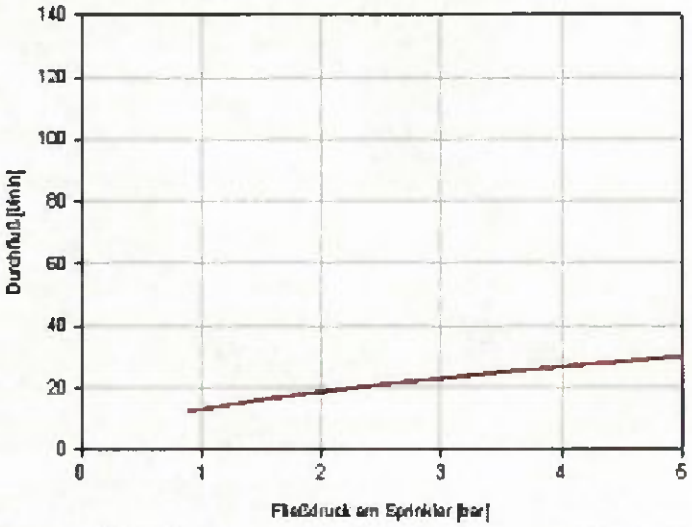


Abb. 4.1-10 Druck-/Druchflußdiagramm Sprinkler 2 (P)

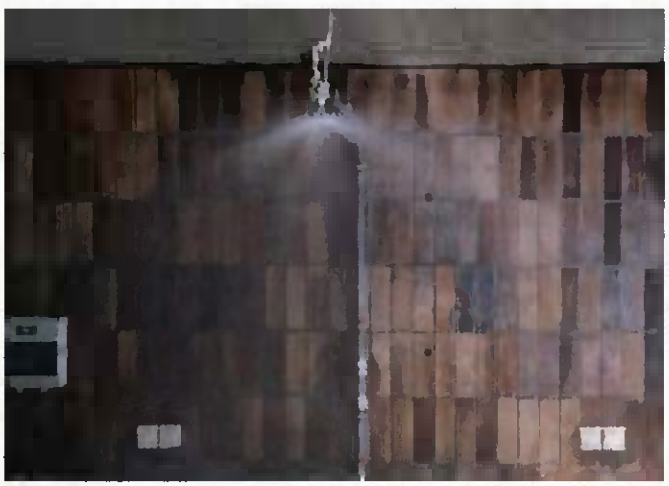


Abb. 4.1-11a Sprinkler 2 (P) - Sprühbild bei 3 bar, mittlerer Durchfluß 23,3 l/min (Foto Ch. Schiebel)

Abb. 4.1-11b Sprinkler 2 (P) - Sprühbild bei 5 bar, mittlerer Durchfluß 30,2 l/min (Foto Ch. Schiebel)

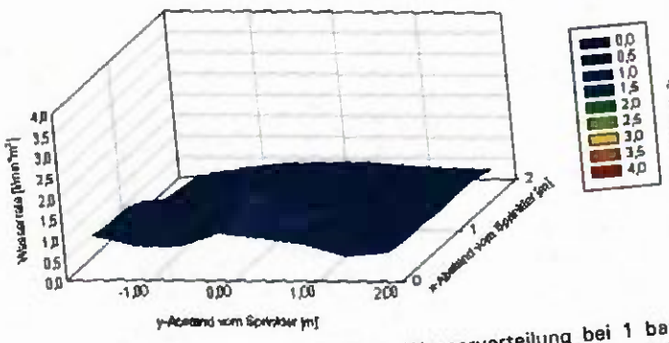


Abb. 4.1-12a Sprinkler 2 (P) - Wasserverteilung bei 1 bar, mittlerer Durchfluß 13,4 l/min

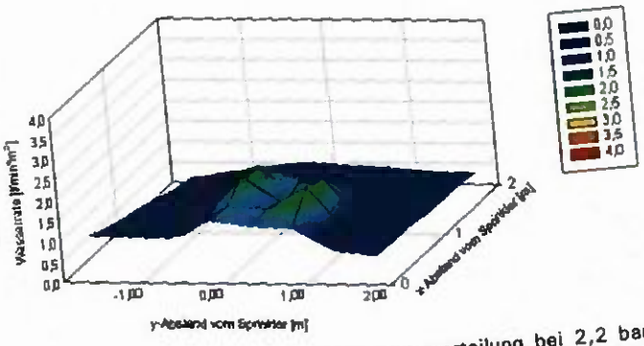


Abb. 4.1-12b Sprinkler 2 (P) Wasserverteilung bei 2,2 bar, mittlerer Durchfluß 20,0 l/min

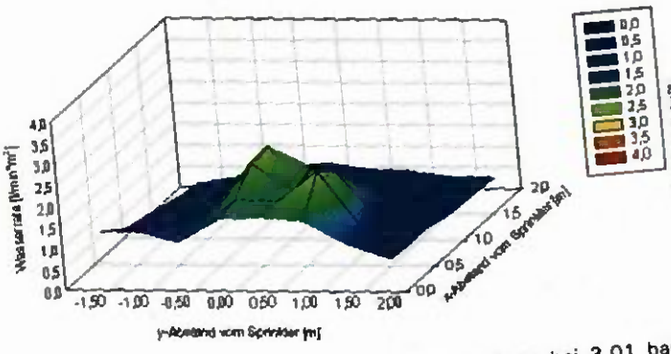


Abb. 4.1-12c Sprinkler 2 (P) Wasserverteilung bei 3,01 bar, mittlerer Durchfluß 23,3 l/min

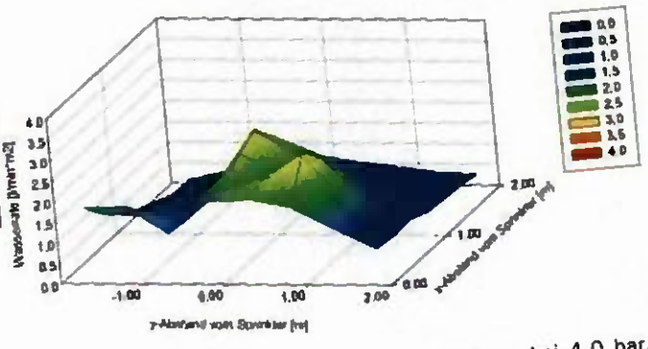


Abb. 4.1-12d Sprinkler 2 (P) Wasserverteilung bei 4,0 bar, mittlerer Durchfluß 26,8 /min

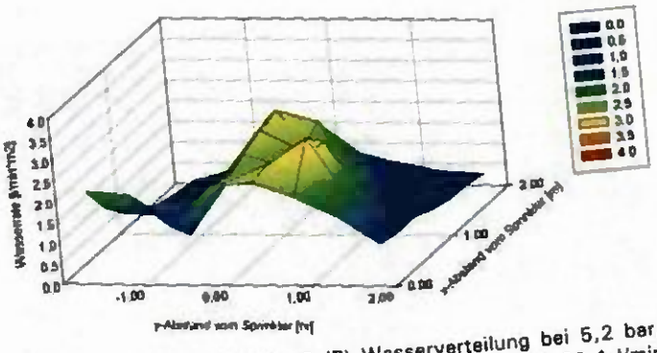


Abb. 4.1-12e Sprinkler 2 (P) Wasserverteilung bei 5,2 bar, mittlerer Durchfluß 30,4 l/min

Sprinkler 3: Schirmsprinkler, hängend

Bei diesem Sprinkler handelte es sich, ähnlich wie beim Sprinkler 1 um einen Schirmsprinkler. Aus den dargestellten Grafiken und Fotos (Abb. 4.1-15 und 4.1-6) ist deutlich erkennbar, dass die beaufschlagte Fläche geringer ist als beim Sprinkler 1 und die Wasserkonzentration im mittleren Bereich deutlich höher liegt. Die mittlere Durchflußmenge bei 1 bar lag bei ca. 79 l/min.

Abb. 4.1-14 Sprinkler 3 (Schirmsprinkler SP, 141 °C) Hersteller: Minimax Foto Ch. Schiebel

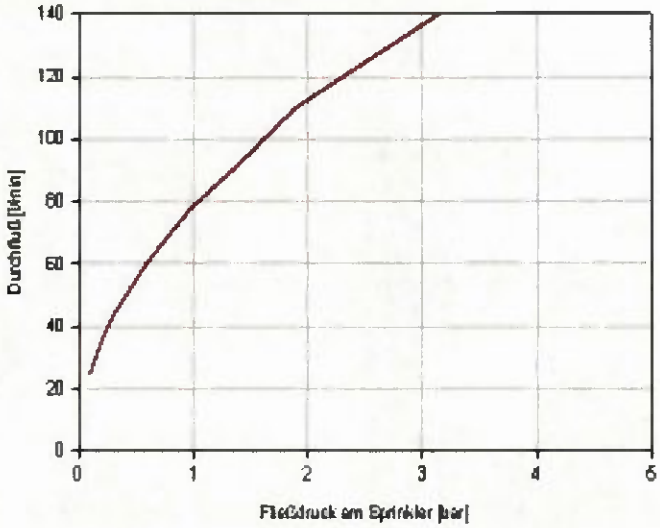


Abb. 4.1-13 Druck-/Druchflußdiagramm - Sprinkler 3 (SP)

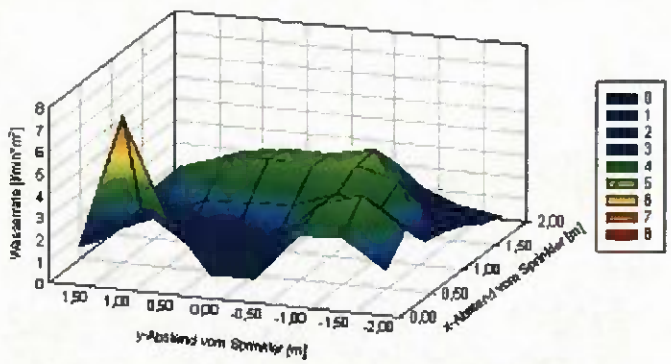


Abb. 4.1-15a Sprinkler 3 (SP) Wasserverteilung bei 0,31 bar, mittlerer Durchfluß 43,4 l/min

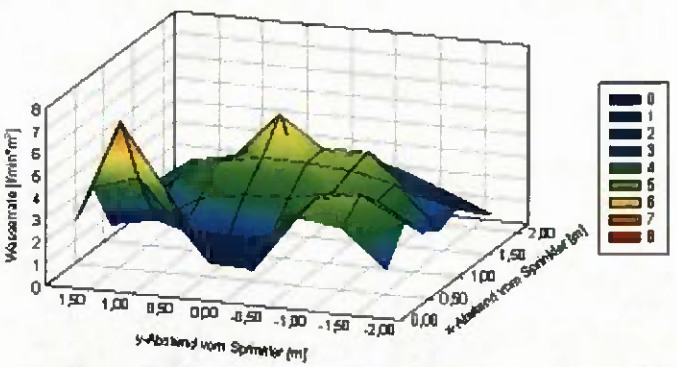


Abb. 4.1-15b Sprinkler 3 (SP) Wasserverteilung bei 0,60 bar, mittlerer Durchfluß 60,4 l/min

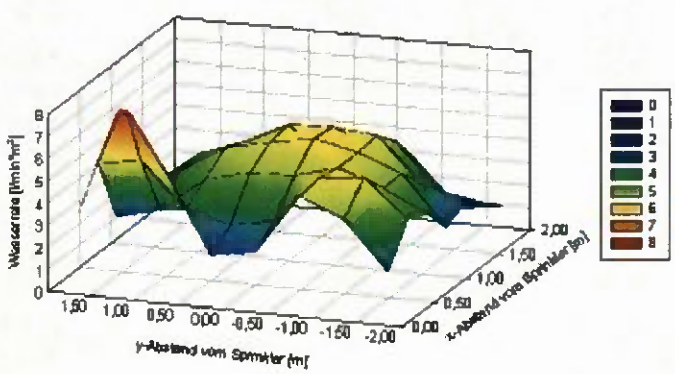


Abb. 4.1-15c Sprinkler 3 (SP) Wasserverteilung bei 1,02 bar, mittlerer Durchfluß 79,7 l/min

Abb. 4.1-16 Sprinkler 3 (SP) Wasserverteilung bei 1 bar, mittlerer Durchfluß 78 l/min (Foto Ch. Schiebel)

Sprinkler 4: Normalsprinkler CUP, stehend / hängend

Ein Normalsprinkler zeichnet sich durch ein kugelförmiges Sprühbild, ein Teil des ausströmenden Wassers wird nach oben versprüht. Er kann stehend oder hängend eingebaut werden. Das Einsatzgebiet ist der Schutz von Stahlbauten und von Gebäudeteilen wie z.B. brennbaren Decken und Einbauten.

Aufgrund von einem weitreichenden und unruhigen Strahl war in diesem Fall die Erfassung der Wasserverteilung nicht sinnvoll. Der mittlere Durchluß bei einem bar lag bei ca. 80 l/min.

Abb. 4.1-17 Sprinkler 4 (CUP hängend oder stehend, 93 °C) Hersteller Minimax Foto Ch. Schiebel

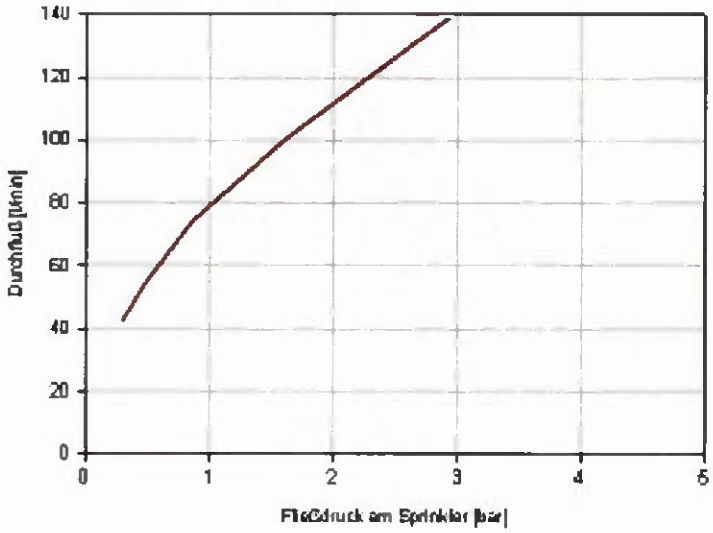


Abb. 4.1-18 Druck-/Durchflußdiagramm - Sprinkler 4 (CUP)

Abb. 4.1-19 Sprühbild bei 0,6 bar, Sprinkler 4 (CUP, hier hängend), mittlerer Durchfluß 60,4 l/min

Abb. 4.1-20 Sprühbild bei 0,86 bar - Sprinkler 4 (CUP, hier stehend), mittlerer Durchfluß 73,8 l/min

Sprinkler 5: Flachschirmsprinkler FP, hängend

Flachschirmsprinkler zwichnen sich durch ein besonders flaches Sprühbild aus. Sie werden in niedrigen Hohlräume, in Böden und Decken, oberhalb Rasterdecken und in Regalen eingesetzt.

Eine Bestimmung der Wasserverteilung unter den gewählten Versuchsbedingungen war bei diesem Sprinkler nur bedingt möglich (Abb. 4.1-23). Der mittlere Durchfluß bei 1 bar lag bei ca.55 l/min.

Abb. 4.1-22 Sprinkler 5 (Flachschirmsprinkler FP, 93 °C) Hersteller: Minimax Foto Ch. Schiebel

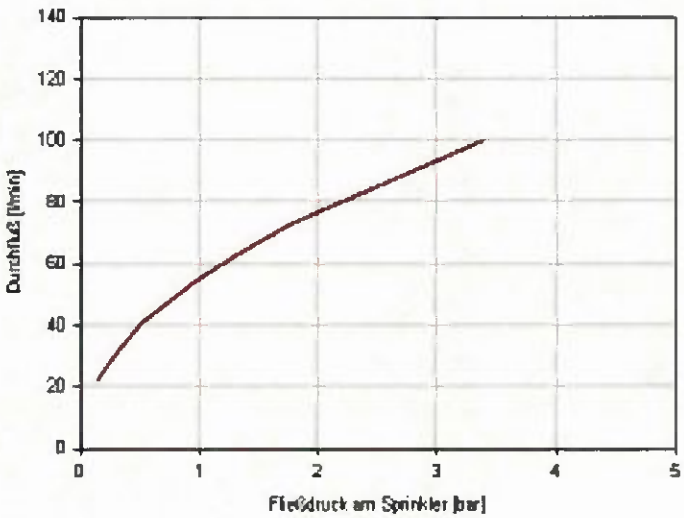


Abb. 4.1-21 Druck-/Durchflußdiagramm, Sprinkler 5 (FP)

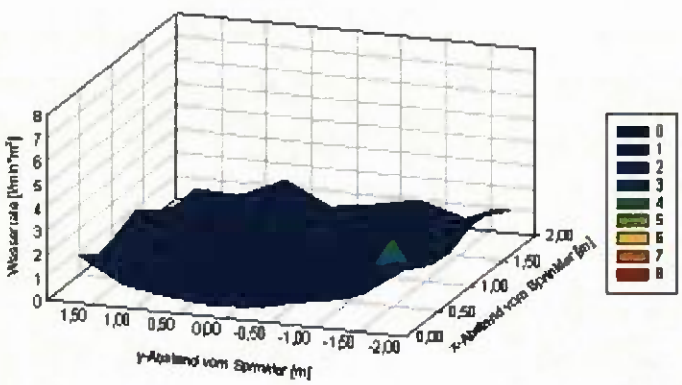


Abb. 4.1-23 Sprinkler 5 (FP), Sprühbild bei 0,29 bar, Durchfluß 30,9 l/min

Abb. 4.1-24 Sprinkler 5 (FP), Sprühbild bei 0,92 bar, Durchfluß 54 l/min

Sprinkler 6: Schirmsprinkler SU, stehend

Der Schirmsprinkler für einen stehenden Einbau kann in den gleichen Nutzungsbereichen verwentet werden, wie der hängende Schirmsprinkler, wenn keine besonderen Anforderungen an die Rohrleitungen und an die Deckengestaltung gestellt werden. Die Charakteristiken der beiden Sprinklertypen sind vergleichbar.

Abb. 4.1-25 Sprinkler 6 (Schirmsprinkler SU, stehend, 93 °C) Hersteller: Minimax Foto Ch. Schiebel

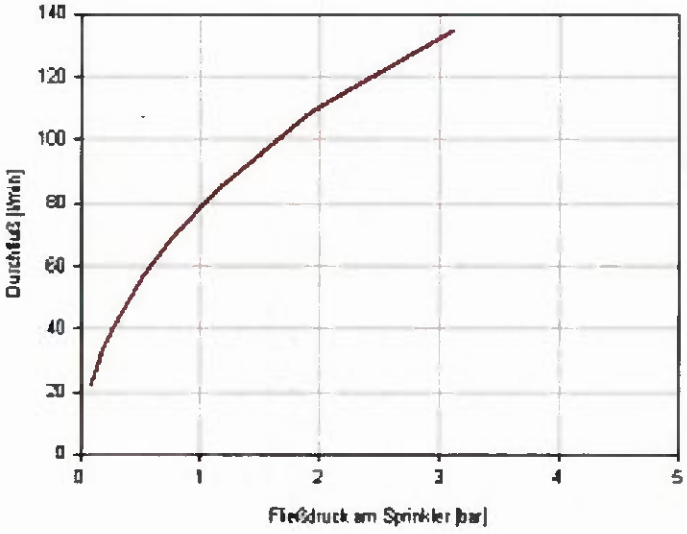


Abb. 4.1-26 Druck-/Durchflußdiagramm Sprinkler 6 (SU)

Abb. 4.1-27 Sprühbild bei 0,68 bar, Sprinkler 6 (SU), mittlerer Durchfluß 65 l/min

Sprinkler 7 (SP), verdeckter Einbau

Bei diesem Sprinkler handelte sich um einen handelsüblichen, hängenden Sprinkler für einen deckenbündigen, verdeckten Einbau. Wie aus der beigefügten Bildern erkennbar ist, war die Wasserverteilung im erfassten Bereich hommogener, als bei einem frei hängenden Sprinkler, die maximalen Wassermengen lagen auch hier außerhalb des erfassten Bereichs. Bei einem Druck von 1 bar wurde ein Wasserdurchfluß von ca. 79 l/min gemessen.

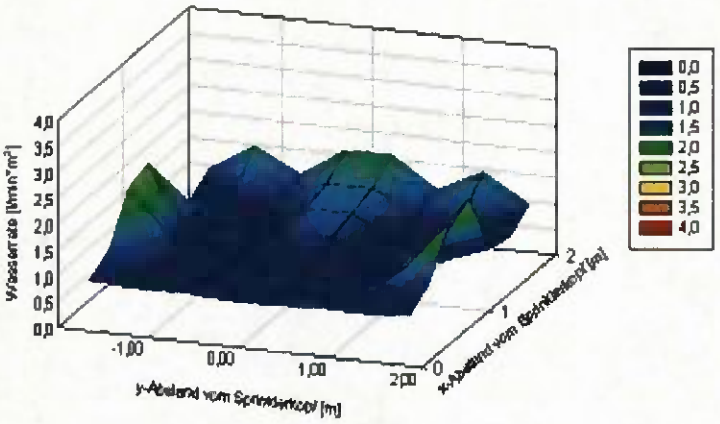


Abb. 4.1-28 Sprinkler 7 (SP, verdeckt). Wasserverteilung bei 0,98 bar, mittlerer Durchfluß 79,6 l/min

Abb. 4.1-29 Sprinkler 7 (SP, verdeckt) Sprühbild bei 1 bar, mittlerer Durchfluß 79,3 l/min

Sprinkler 8 (P), verdeckter Einbau

Hängender Sprinklermit einem verdeckten Einbau. Die maximalen anfallenden Wassermengen lagen innerhalb der erfassten Fläche. Der Wasserdurchfluß bei einem Druck von 5 bar betrug ca. 30 l/min.

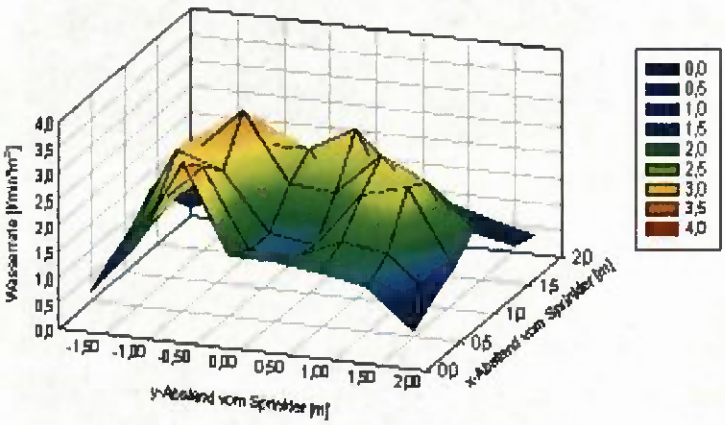


Abb. 4.1-30 Sprinkler 8 (P; verdeckt). Wasserverteilung bei 4,8 bar, mittlerer Durchfluß 29 l/min

Abb. 4.1-31 Sprühbild Sprinkler 8 (P, verdeckt) 4,8 bar, mittlerer Durchfluß 29 l/min

3.1.3 Sprinklerserie II

In USA werden zum Schutz von Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Wohn- und Hotelanlagen) werden Residential Sprinkler verwendet. Der Einbau von diesen Sprinkleranlagen ist in den NFPA - Standards 13D und 13R geregelt, in Deutschland sind diese Anlagen nicht zugelassen. Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Systemen zu ermöglichen, wurden auch Parameter der ausgewählten Residential Sprinkler erfasst.

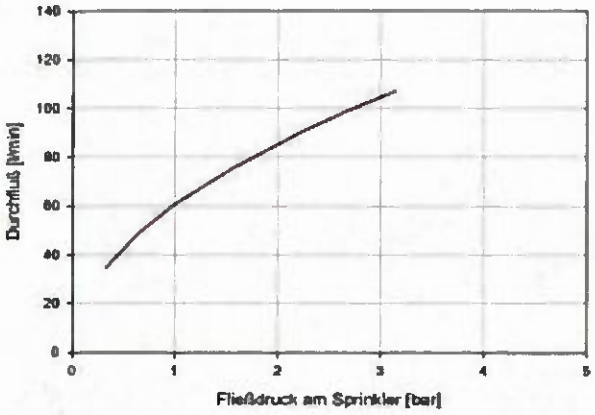


Abb. 4.1-32 Druck-/Druchflußdiagramm Residential Sprinkler Flat Plate

Abb. 4.1-33, 34 Residential Sprinkler – Flat Plate mit Deckkappe und im Betriebszustand Hersteller Tyco

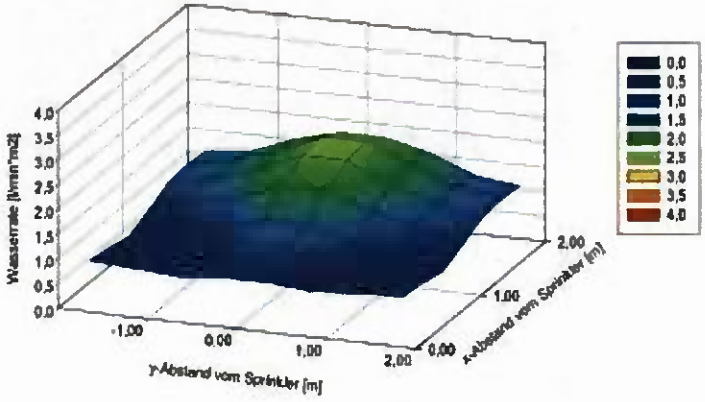


Abb. 4.1-35 Residential Sprinkler Flat Plate Wasserverteilung bei 1,2 bar

Abb. 4.1-36 Residential Sprinkler Flat Plate Sprühbild bei 1,2 bar

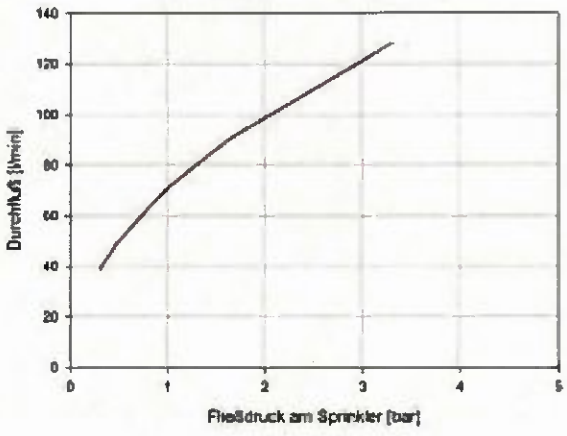


Abb. 4.1-37 Druck-/Druchflußdiagramm
Residential Sprinkler Domed Plate

Abb. 4.1-38 a,b Residential Sprinkler – Domed Plate mit Deckkappe und im Betriebszustand
Hersteller Tyco

Abb. 4.1-39 Residential Sprinkler Domed Plate
Sprühbild bei 1,2 bar

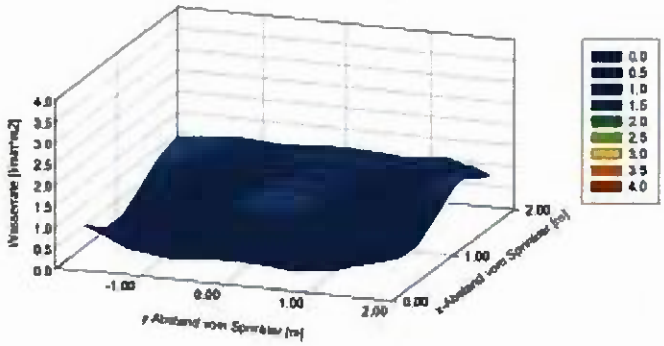


Abb. 4.1-40 Residential Sprinkler Domed Plate Wasserverteilung bei 0,45 bar

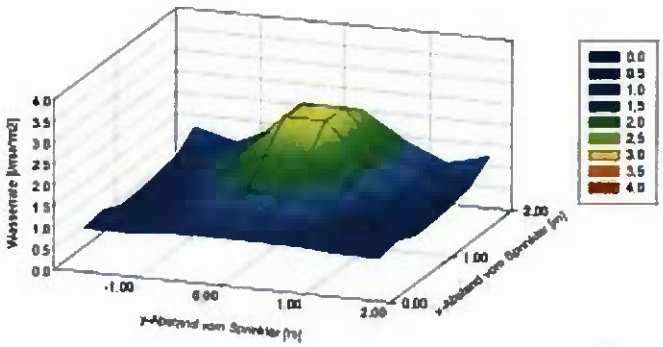


Abb. 4.1-41 Residential Sprinkler Domed Plate Wasserverteilung bei 0,45 bar

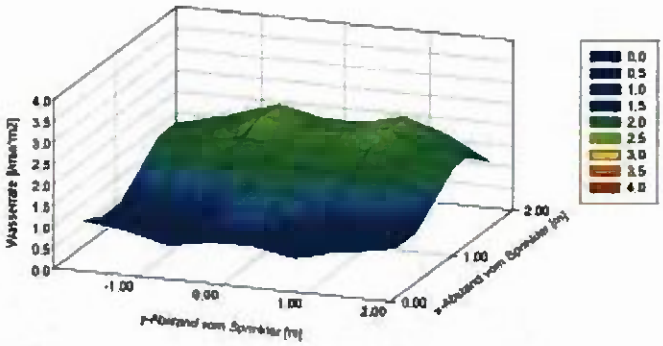


Abb. 4.1-42 Residential Sprinkler Domed Plate Wasserverteilung bei 1,29 bar

4.1.4 Heizungsnetz

Im Zusammenhang mit der Möglichkeit, das Heizungsnetz als Teil eines Löschsystems zu nutzen, wurden auch hierzu Wasserversuche durchgeführt (Abb. 4-1-43).

Aufgrund des geringen Wasserdurchsatzes, der ungeeigneten Position des Sprinklers sowie der Gefahr von Verbrühungen wird ein solches System nicht weiter verfolgt.

Abb. 4.1.43 Wasserversuche - Heizungsnetz

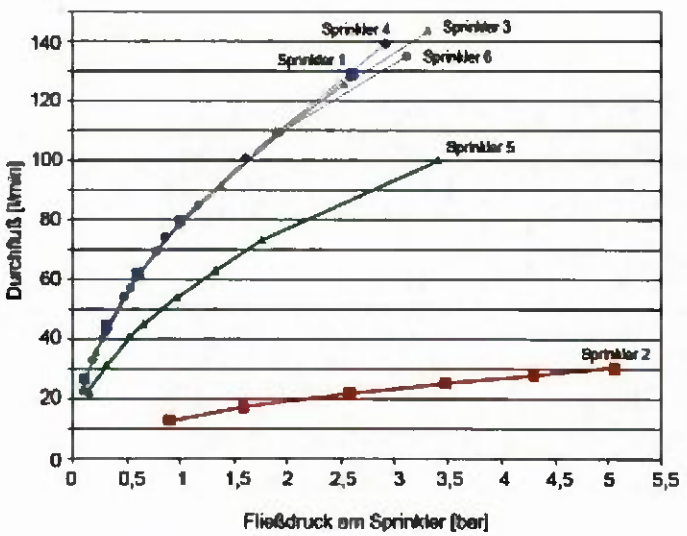


Abb. 4.1-44 Druck-/Durchflußdiagramm – Vergleich alle Sprinkler

4.1.5Auswertung der Wasserversuche

Als Bezugsgröße für die Versuchsanordnung wurde ein Raum von 4x4m gewählt. Diese Raumgröße wird häufig für Kinder- oder Arbeitszimmer verwendet. Da es sich um eine Anwendung für den Wohnungsbau handelt, sollte in den weiteren Untersuchungen überprüft werden, ob ein Brand in einem Raum mit dieser Nutzfläche mit nur einem Sprinkler unter Kontrolle gebracht werden kann.

Bei der Versuchsplanung wurde auch von der Annahme ausgegangen, dass eine vereinfachte Löschanlage zwar eine aktive Sicherheit bieten soll, ihre Kosten jedoch geringer als bei herkömlichen Anlagen bleiben sollen und ihre Anwendbarkeit und Funktionsweise auch für einen „normalen" Nutzer verständlich sein muss. Durch diese Annahmen wurde die verbreitete Meinung in Betracht gezogen, dass es sich bei den Sprinkleranlagen um kostenintensive und komplizierte Anlagen handelt, die für einen Wohnungsbau nicht geeignet sind. Das wesentliche Ziel bestand also darin zu überprüfen, ob ein wirksamer Schutz auch mit einfachsten Mitteln erreicht werden kann.

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die angenommene Schutzfläche von 16 m² ausreichend mit Wasser benetzt werden kann, sodass auch ein Brand in einer Raumecke unter Kontrolle gebracht werden kann. Da die Anlage in Verbindung mit den üblichen haustechnischen Anlagen und mit der Wasserversorgung des Wohnhauses verknüpft werden sollte, wurde der Druck auf maximal 5 bar begrenzt. Dieser Druck entspricht dem maximalen Wasserdruck, der an dem Hauptanschluß in einem Gebäude zur Verfügung steht und der mit einfachen technischen Mitteln beim Auslösen der Anlage aufrecht gehalten werden kann.

Wie aus den dargestellten Diagrammen ersichtlich, ist die Wasserverteilung für jeden Sprinklertyp charakteristisch. Sie spiegelt die Eignung der einzelnen Sprinkler für die spezifischen Brandverläufe wider, die bei den unterschiedlicher Nutzungen und Brandlasten (Industrie-, Lager-, Büronutzung) zu erwarten sind. Bei den z.B. in der Büro- und Hotelgebäuden üblich verwendeten Schirmsprinklern liegen die Wassermengen bei ca, 79 l/min bei einem bar. Diese Durchflußmenge ist für die meisten Anlagen charakteristisch. Ebenfalls der Vergleich mit den Residential Sprinklern hat gezeigt, dass die eingesetzten Wassermengen relativ hoch sind.

Für die vorgesehene Anwendung in einem mehrgeschossigen Wohngebäude in Holzbauweise ist jedoch eine Begrenzung des Löschawasserschadens sinnvoll. Hier sind die Eigenschaften der Wassernebellöschanlagen vom Vorteil, deren Löschwirkung in besonderer Wirkung von feinem Tropfenspektrum beruht. Auf de anderen Seite liegen auch die Forteile der Sprinkleranlagen an der Hand - diese Anlagen sind in Bezug auf die Wasseraufbereitung aufgrund ihrer Konstruktion unempfindlicher als die Wassernebellöschanlagen.

Aus diesem Grund wurde für die weitere Untersuchungen der Sprinkler Nr. 2 ausgewählt, bei dem der niedrigste Wasserdurchfluss gemessen wurde (Abb. 4.1-44).

4.2 Brandversuche

Die Brandversuche wurden auf dem Freiversuchsgelände der MFPA Leipzig in einem Modell-Holzhaus durchgeführt, das von der Firma Haas Fertigbau GmbH zur Verfügung gestellt wurde.

Das Versuchshaus wurde im Rahmen der Kampagne Brandschutz hergestellt, die von der Fa. Haas Fertigbau GmbH und den Verbänden des Bayerischen Zimmer- und Holzgewerbes veranlasst wurde. In diesem Modellgebäude wurden im Rahmen der „Untersuchung von brandschutztechnisch optimierten Wand- und Deckenaufbauten im Rahmen der Kampagne Brandschutz" (Prof. Dr.-Ing. S. Winter u. Dipl.-Ing. R. Stein, Lehrstuhl für Holzbau u. Baukonstruktion, Technische Universität München; 2006) Brandversuche durchgeführt.

Nach diesen Versuchserien wurde das Haus mit großzügiger Unterstützung der Fa. Haas Fertigbau GmbH und der Fa. Knauf Gips KG saniert, so dass das Gebäude für weitere Untersuchungen genutzt werden konnte.

Die erforderliche technische Ausstattung für die Versuche freundlicherweise von der Fa. Minimax GmbH & Co.KG zur Verfügung gestellt.

4.2.1 Versuchsaufbau

Das Holzhaus hatte Abmessungen von ca. 9x7 m und bestand im Erdgeschoss aus zwei Versuchsräumen mit jeweils ca. 4,24x4,24 m und einem Erschließungsflur. Die Raumhöhe in den Brandräumen lag bei ca. 2,30 m. In jedem Brandraum waren zwei Fenster mit Abmessungen von ca. 1x1,2 m vorhanden (Abb. 4.2-1 und 4.2-2).

Um den Einfluß der Raumbekleidung berücksichtigen zu können wurden die Räume unterschiedlich bekleidet - im Raum 1 wurden die Wände und Decken mit ca. 60 mm dicken Massivholzplatten (Fichtenholz) bekleidet (Versuche Nr. I und III), Raum 2 mit Knauf-Feuerschutzplatten mit einer Dicke von 12,5 mm.

Abb. 4.2-1 Versuchshaus der Fa. Haas Fertigbau GmbH auf dem Freiversuchsgelände der MFPA Leipzig

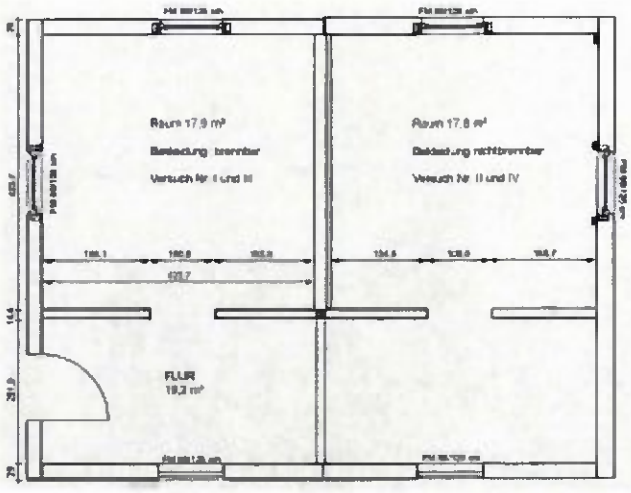


Abb. 4.2-2 Grundriss Versuchshaus.
Foto und Plan R. Stein

Die Wasserversorgung erfolgte über einen Überflurhydranten auf dem Gelände der MFPA. Zwischen der Sprinkleranlage und dem Hydranten wurde eine Pumpe zwischengeschaltet, so dass die Aufrechterhaltung eines gleichmäßigen Druckes während der Versuche gewährleistet werden konnte. Der Prüfdruck wurde gezielt möglichst gering gehalten, um die Wirksamkeit der Löschanlage im Grenzbereich zu überprüfen. Unter Berücksichtigung des geplanten Einsatzes im Wohnungsbau und der Anwendung in Verbindung mit haustechnischen Anlagen wurde der Prüfdruck auf 5 und 3 bar festgelegt.

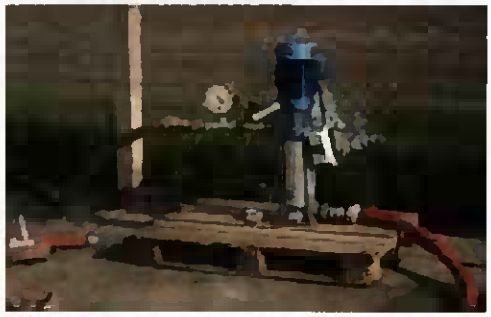


Abb. 4.2-3 Technischer Aufbau der Sprinkleranlage (Wasserversorgung)

In jedem Brandraum wurde ein Sprinkler installiert, der bei den Versuchen I-III in Entfernung von 2,10 m von der inneren Wand 1,95 m von der Hausfront (Abb. 4.2-4) eingebaut wurde, für den Versuch Nr. IV wurde der Abstand zur Innenwand auf 1,50 m gesetzt. Eine symetrische Anordnung des Sprinklers war aufgrund der Lage der Deckenbalken nicht möglich. Zusätzlich wurden in jedem Raum ein Rauchmelder und ein Wärmemelder in der Nähe des Sprinklers installiert (Abb. 4.2-4 und 4.2-6).

Abb. 4.2-4 Einbau der Sprinkleranlage in den Versuchsräumen

Bei der Festlegung des Brandszenarios wurde davon ausgegangen, dass bei der Anordnung von nur einem Sprinkler in der Raummitte, ein Brand in einer Raumecke, ausgelöst durch die Entzündung eines Stoffes mit der Neigung zu einer intensiven Verbrennung (z.B. eines Sessels oder Sofas), die kritische Situation darstellt. Ein ähnlicher Ansatz wird auch in den Prüfnormen für die Residential Sprinkler (ISO 6182-10 und UL 1626) verwendet.

Für die Brandversuche wurden die Räume möbliert. Die Brandlast bestand aus einem Polstersessel, einem Konferenztisch und einem Bücherregal. Die Wände wurden mit Postern dekoriert. An den Fenstern wurden Baumwollvorhänge angebracht, in der Brandecke wurde eine Stehlampe mit einem brennbaren Lampenschirm (Papier, Stoff) angeordnet. Als Zündquelle wurde ein Papierkorb neben dem Sessel verwendet. Eine Zusammenstellung der Brandlasten ist in Tabelle 4.2-1.

Abb. 4.2-5 Anordnung der Brandlast im Versuchsraum. Stilisierte Darstellung F. Jung

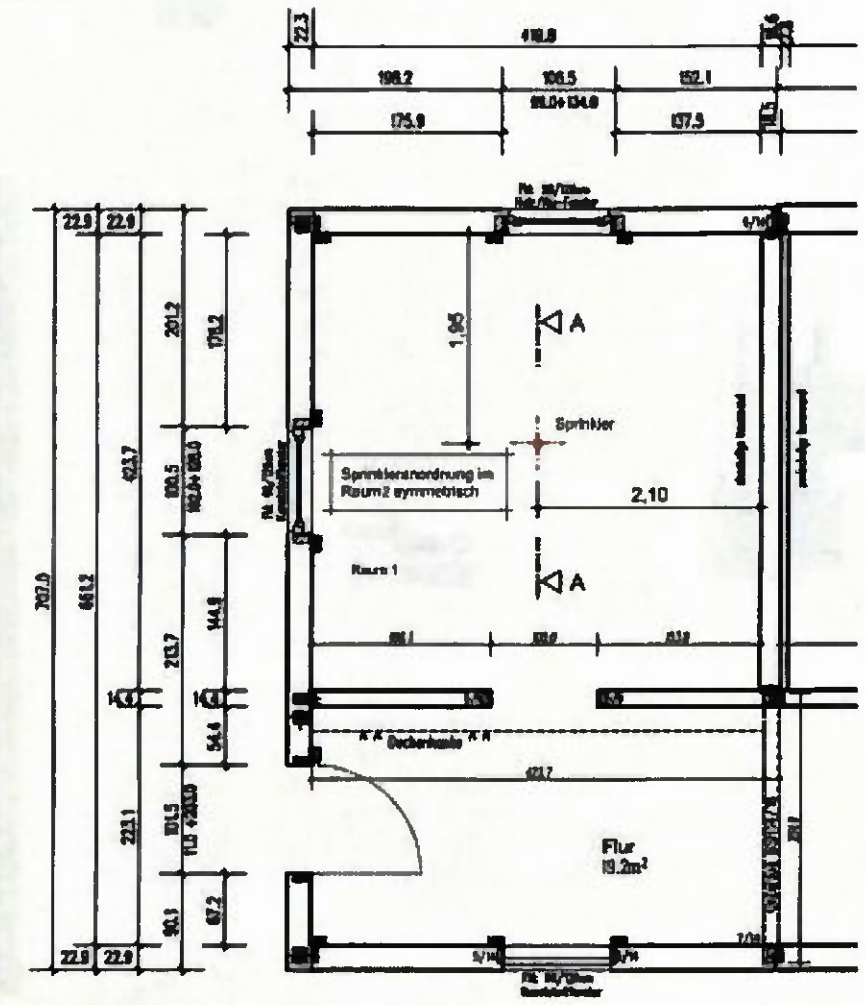


Abb. 4.2-6 Einbau der Sprinkleranlage in den Versuchsräumen

Als Zündquelle wurde ein Rattan-Papierkorb mit jeweils 200 g Zeitungspapier und 250 ml Isopropanol verwendet.

Tab. 4.2-1 Brandversuche - verwendete Brandlast (nach Beilicke, 1990)

Gegenstand	Gewicht (kg)	Heizwert (MJ/ME)
Polstersessel	26	267
Holzregal	34	730
Bücher	25	420
Vorhänge (Baumwolle)	0,5	8,7
Konferenztisch	9	134
Papierkorb (Rattan)	0,4	6,7
Papier	0,2	17,6
Stehlampe mit Stoff bzw. Papierschirm		

Während der Versuche wurden in jedem Raum Temperaturen erfasst. Die Meßstellenanordnung ist in der Tabelle 4.2-2 beschrieben und in Abb. 4.2-7 dargestellt.

Tab. 4.2-2 Brandversuche - Anordnung der Temperaturmeßstellen

Meßstelle	Anordnung	Abstand zur Decke (mm)	Abstand zur Außenwand (mm)	Abstand zur Innenwand (mm)
D1	Decke	bündig	200	200
B1	Innenwand	100	200	bündig
B2	Innenwand	1.340	200	bündig
C1	Innenwand	100	900	bündig
C2	Innenwand	1.340	900	bündig
E1	Innenwand	100	1.900	bündig
E2	Innenwand	1.340	1.900	bündig
A1	Außenwand	100	bündig	900
A2	Außenwand	1.340	bündig	900
G	Decke	bündig	900	900
S	Decke,	bündig	1.950	2.100
Rauchmelder	Raummitte	bündig	1.950	2.100
Wärmemelder	Raummitte	bündig	1.950	2.100

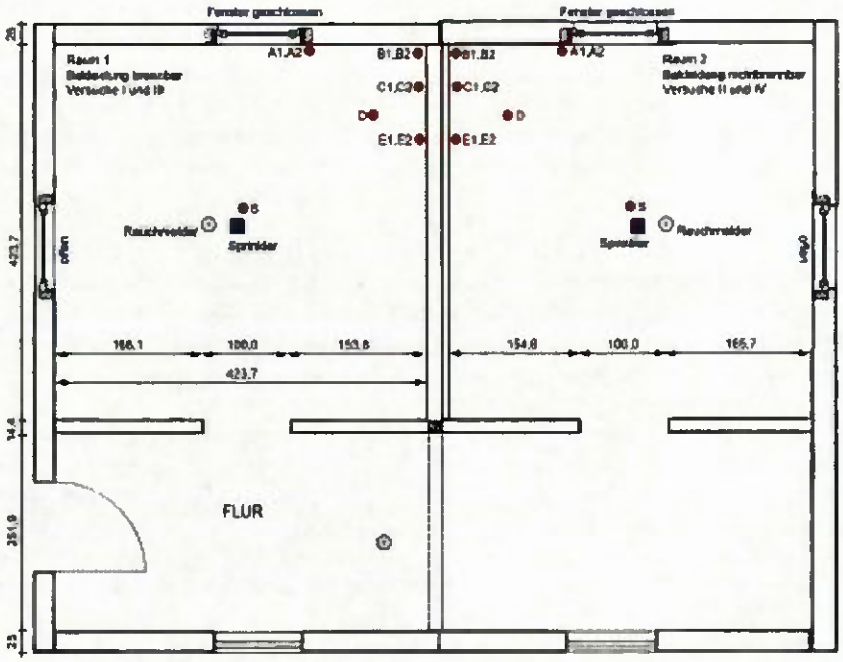


Abb. 4.2-7 Brandversuche - Anordnung der Temperaturmeßstellen

4.3 Experimentelle Untersuchungen

Auf Grundlage der vorausgegangenen Messungen ohne Brandbelastung wurden vier Brandversuche geplant. Das Ziel bestand darin, die brandschutztechnischen Grenzbereiche für eine vereinfachte Löschanlage aufzuzeigen, die in Verbindung mit gängigen haustechnischen Systemen realisiert werden könnte.

Bei der Versuchsplanung wurde davon ausgegangen, dass die Löschanlage in einem mehrgeschossigen Wohnungsbau eingesetzt werden soll, wobei der Sicherheitsstandard, der mit einer zertifizierten automatischen Löschanlage verbunden ist, nicht zwingend eingehalten werden muss. Vielmehr wurde im Zusammenhang mit den baulichen Maßnahmen ein zusätzlicher, jedoch definierbarer Schutz, geringe Anschaffungskosten und einfache technische Ausführung in Vordergrund gestellt. Aus diesem Grund wurde der maximale Druck mit 5 bar festgelegt, der bereits durch die Trinkwasserversorgung gewährleistet wird und mit einfachen Druckerhöhungsanlagen auch in oberen Geschossen eines Gebäudes gehalten werden kann.

Ein weiteres Kriterium bezüglich der geplanten Anwendung in Wohngebäuden bestand in Anforderung an minimale Anzahl von Sprinklern pro geschützten Raum. Es ist auch zu berücksichtigen, dass der Einsatz von Sprinkleranlagen in privaten Haushalten nicht üblich ist und somit davon ausgegangen werden muss, dass der Umgang mit diesen Anlagen den Bewohnern nicht bekannt ist und die Anlage unabsichtig beschädigt werden kann. Ein möglicher Wasserschaden ist somit auch unter diesem Aspekt zu reduzieren.

Für die Brandversuche wurde anhand der durchgeführten Wasserversuche der Sprinkler Nr. 2 gewählt (Kapitel 4.1). Bei diesem Sprinkler wurde sowohl ein sehr geringer Wasserverbrauch als auch eine sehr voluminöse Wasserverteilung festgestellt, die auf eine wirksame Löschwirkung hindeutete.

Unter Berücksichtigung der Wohnnutzung sollte aus gestalterischen Gründen die Sprinkleranzahl im Raum auf ein Minimum reduziert werden. Aus diesem Grund wurde bezogen auf die Raumgröße von ca. 16 m² ein Sprinkler in der Raummitte angeordnet.

Für die Versuche wurden die Räume identisch möbliert. Der Brandentstehungsort wurde in maximaler Entfernung zum Sprinkler gewählt und zusätzlich so angeordnet, dass eine direkte Wasserbeaufschlagung der Brandausbruchstelle durch die Möblierung möglichst beeinträchtigt wurde. Als primäre Brandlast wurde ein Papierkorb mit 200 g Zeitungspapier gewählt, der in der Raumecke am Polstersessel platziert wurde. Die 250 ml Isopropanol wurden verwendet, um der Verbrennungsvorgang einzuleiten. Der Sessel wurde in einem Abstand von 10 cm von der Wand platziert. Durch diese Anordnung wurde eine Luftströmung entlang der Wand gewährleistet. Diese Anordnung wirkt sich auf den Brandverlauf ungünstig aus, da die Strömung der heißen Brandgase und damit die Wärmebelastung der Decke begünstigt wird.

Bei den Versuchen wurde als weiteres Kriterium die materialtechnische Ausführung der Wände und Decken der Versuchsräume gewählt: Raum 1 wurde mit Massivholzplatten verkleidet, Raum Nr. 2 mit Feuerschutzplatten. Anhand dieser Ausführung sollte die mögliche Auswirkung der brennbaren oder nichtbrennbaren Oberflächen auf die Brandentwicklung aufgezeigt werden.

Während der Versuche wurde das Fenster in der Nähe des Sessels geschlossen, das Fenster an der gegenüberliegenden Wand auf Kippen geöffnet. Die Türenöffnung zum Raum wurde nicht verschlossen, sodass ein ausreichender Luftwechsel im Raum vorhanden war. Diese Versuchsbedingung wurde gewählt, um realistische Bedingungen (offene Türen und Fenster innerhalb einer

Wohnung) zu schaffen. Es ist anzunehmen, dass bei einem geschlossenen Raum ohne Luftsrömung der zur Auslösung des Sprinklers erforderliches Termperaturniveau schneller erreicht wäre. Die Hauseingangstür stand während der Versuche ebenfalls offen, so dass von einer ausreichnden Lüftung ausgegangen werden kann.

Versuch Nr. 1

Der erste Versuch wurde im Brandraum 1 durchgeführt. Die Wände des Versuchsraums wurden mit Massivholzplatten bekleidet. Der Druck in der Sprinkleranlage wurde bei 5 bar konstant gehalten.

Nach der Zündung erfolgte die Auslösung des Wärmemelders nach ca. 3 Minuten, der Rauchmelder löste ca. 2 Minuten später an. Die höchsten Temperaturen in der Zündphase wurden erwartungsgemäß an der Meßstelle D nach ca 1,3 Minuten erfasst, die an der Decke unmittelbar über dem Papierkorb angeordnet wurde (78 °C) und auf die Verbrennung von Isopropanol zurückzuführen ist.

Die rasche Verbrennung von Isopropanol führte zur Entzündung von Papier, das Temperaturmaximum in dieser Phase lag bei ca. 75 °C (Meßstelle D) in ca. 3,6 Minuten. Auch zu diesem Zeitpunkt wurden die höchsten Temperaturen an der Decke über dem Papierkorb erreicht.

Die Auslösung des Wärmemelders, der etwa in der Raummitte, in der Nähe des Sprinklers angeordnet wurde, nach ca. 3 Minuten nach der Zündung sind auf die Verbrennung des Papiers im Papierkorb zurückzuführen. Die Temperatur in der Nähe des Sprinklers (Meßstelle S) lag zu diesem Zeitpunkt bei ca. 58 °C (Abb. 4.3-1).

Die Verbrennung der Brandlast im Papierkorb und die Brandübertragung - die Entzündung vom Selles erfolgte im wesentlichen nach ca. 6 Minuten, dieser Zeitpunkt ist in der Graphik in Abb. 4.3-1 deutlich erkennbar, zu diesem Zeitpunkt ist eine Temperatursenkung mit anschließendem steilen Temperaturanstieg erkennbar.

Die Auslösung des Sprinklers erfolgte in der 8. Minute, die Temperatur an der Meßstelle S (Entfernung zum Sprinkler ca, 10 cm, vergleich Abb. 4.3-4) lag bei ca. 85 °C. Die maximale Temperatur von ca, 126 °C wurde zu diesem Zeitpunkt an den Meßstellen E1 und D1 gemessen, die im Deckenbereich angeordnet wurden. Die Meßstelle D1 befand sich über dem Zündbereich, die Temperatur E1 an der Innenwand unmittelbar unter der Decke über dem Sessel. Der Anstieg von diesen Temperaturen ist auf den Flammenbrand des Sessels zurückzuführen (Abb. 4.3-3).

Nach der Auslösung des Sprinklers sanken schlagartig alle Temperaturen, in der 12. Versuchsminute lagen alle Temperaturen unter 40 °C. Der Brand wurde durch die Sprinkleranlage innerhalb von weniger als 5 Minuten unter Kontrolle gebrach. Die Sprinkleranlage wurde 10 Minuten im Betrieb gelassen.

Nach der Entrauchung des Raumes konnte festgestellt werde, dass der Brand auf den Sessel begrenzt geblieben ist. Ein Nachlöschen mit sehr geringen Wassermengen war im unteren, verdeckten Bereich des Sessels erforderlich, der vom Löschwasser nicht direkt erreicht werden konnte.

Sowohl die Holzbekleidung der Wände und der Decke als auch die Vorhänge und der textile Lampenschirm blieben intakt (Abb. 4.3-5), und aufgrund der Löschanlage sind im Raum auch keine Rauch- und Rußschäden entstanden. Die gesamt verwendete Löschwassermenge lag bei ca. 300 l, so dass kein nennenswerter Wasserschaden entstanden ist (Abb. 4.3-5), die Wasserbeaufschlagung lag bei ca. 1,9 mm/min.

Die Benetzung der Wände ist aus Abb. 4.3-6 erkennbar. Die Wasserverteilung im Raum war ausreichend, um den Entstehungsbrand in einer ungünstigen Stelle unter Kontrolle zu bringen.

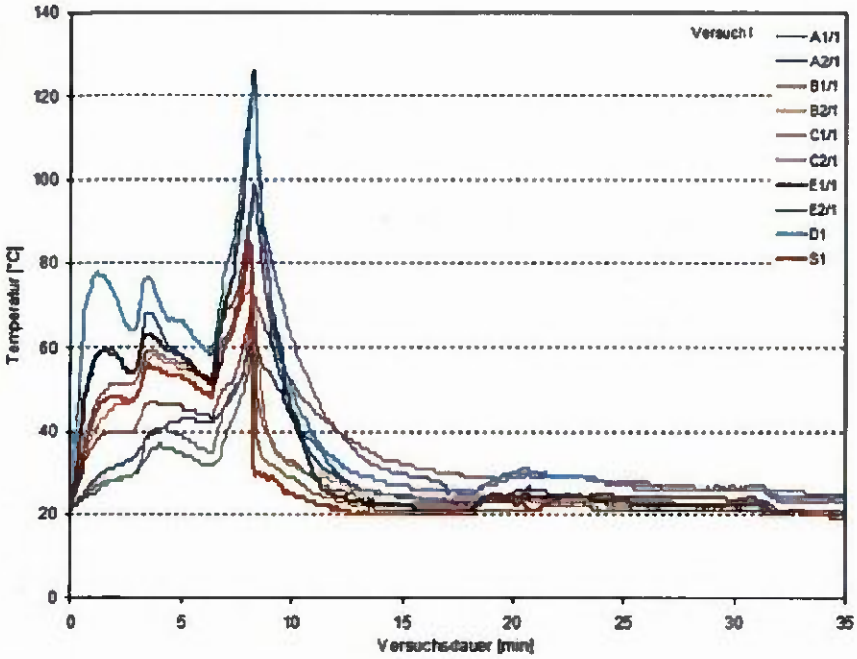


Abb. 4.3-1 Versuch Nr. 1, Brandraum 1. Temperaturentwicklung (Anordnung der Meßstellen in Tab. 4.2-2)

Abb. 4.3-2 Versuch Nr. 1, Brandraum 1: Zündphase

Abb. 4.3-3 Versuch Nr. 1, Brandraum 1: Sessel im Vollbrand (8. Minute)

Abb. 4.3-4 Versuch Nr. 1, Brandraum 1: Löschphase

Abb. 4.3-5 Versuch Nr. 1, Brandraum 1: Schadensbild

Abb. 4.3-6 Versuch Nr. 1, Brandraum 1: Wasserbeaufschlagung

Abb. 4.3-7 Versuch Nr. 1, Brandraum 1: Schadensbild Sessel

Versuch Nr. 2

Der zweite Versuch wurde im Brandraum 2 durchgeführt, die Wände und Decken wurden mit Feuerschutzplatten bekleidet (Abb. 4.3-9). Unter Berücksichtigung des positiven Ergebnisses bei dem Versuch 1 wurde der Fließdruck auf 3 bar festgelegt, um die Auswirkung eines Druckabfalls zu simulieren.

Nach der Zündung erfolgte die Auslösung des Wärmemelders nach ca. 1 Minute infolge der raschen Verbrennung des Papiers. Bei diesem Versuch wurde im Vergleich zum Versuch 1 ein größerer Papierkorb verwendet, der zwar aus dem gleichen Material (Korbware) hergestellt wurde, aufgrund der Größe das Papier jedoch lockerer lag. Durch den schnellen Temperaturanstieg wurde der Sessel ebenfalls schnell angezündet. Die Auslösung des Rauchmelders und des Sprinklers erfolgte somit ebenfalls schneller als bei dem vorherigen Versuch. Die Temperaturen im Deckenbereich (Abstand zum Sprinkler ca. 10 cm) in Sprinklernähe lagen zu diesem Zeitpunkt bei ca. 80 °C (Abb. 4.3-10).

Etwa 4 Minuten nach der Auslösung des Sprinklers lagen alle Temperaturen unter 40 °C, der Brand wurde durch die Sprinkleranlage kontrolliert. Ähnlich, wie beim Versuch 1 wurde die Sprinkleranlage 10 Minuten im Betrieb belassen.

Der Wasserdurchfluß lag bei 26 l/min, was einer Gesamtwassermenge von 260 l entspricht.

Durch die schnelle Auslösung des Sprinklers war ähnlich, wie bei dem ersten Versuch, sowohl der Brand- als auch der Wasserschaden sehr gering (Abb. 4.3-12 bis 4.3-15).

Die Höhe der Wasserbenetzung der Wände war niedriger, als beim Versuch 1, für den Brandentstehungsort im unteren Raumbereich jedoch stetts ausreichend (Abb. 4.3-13). Die Feuerschutzplatten wurden nicht beschädigt (Abb. 4.3-14 und Abb. 4.3-15).

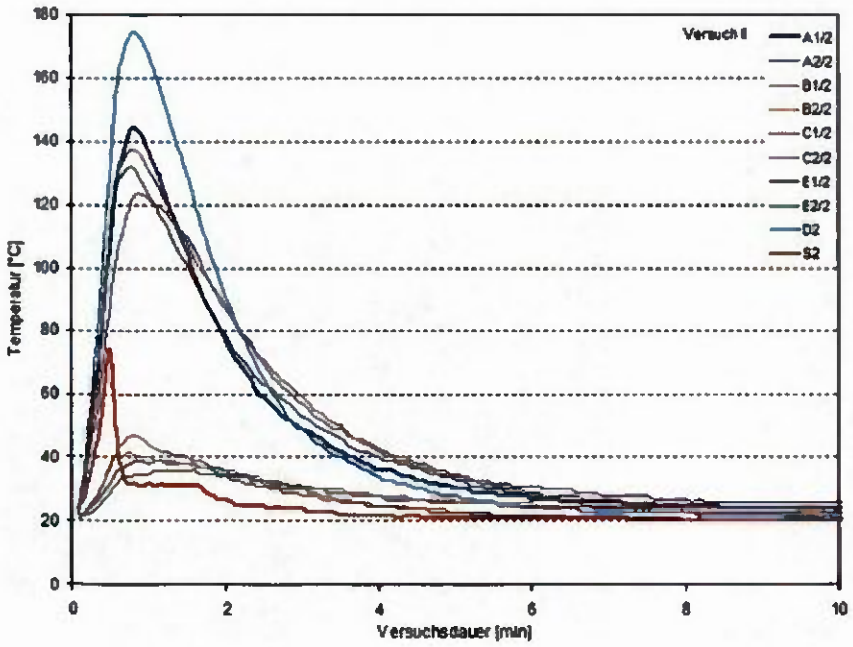


Abb. 4.3-8 Versuch Nr. 2. Temperaturentwicklung im Brandraum. Meßstellenanordnung gem. Tabelle 4.2-2.

Abb. 4.3-9 Versuch Nr. 2. Versuchsanordnung

Abb. 4.3-10 Versuch Nr. 2. Auslösung des Sprinklers

Abb. 4.3-11 Versuch Nr. 2. Löschvorgang

Abb. 4.3-12 Versuch Nr. 2. Schadensbild

Abb. 4.3-13 Versuch Nr. 2. Wasserbenetzung im Wand und Deckenbereich. Fließdruck am Sprinkler 3 bar.

Abb. 4.3-14 Versuch Nr. 2. Durch geringen erforderlichen Löschwassermengen und die optimale Wasserverteilung (Vernebelungseffekt) ist kann ein Wasserschaden minimiert werden.

Abb. 4.3-15 Versuch Nr. 2. Wandbekleidung (Feuerschutzplatten) vor und nach dem Löschversuch - keine Beschädigung der Bekleidung.

Versuch Nr. 3

Der dritte Versuch wurde wieder im Brandraum 1 durchgeführt, die Wände und Decken wurden mit Massivholzplatten bekleidet (Abb. 4.3-17). Da bei den vorherigen Versuchen weder ein Einfluß der brennbaren Bekleidung festgestellt wurde noch eine Auswirkung der Reduzierung des Druckes auf den Löschvorgang, wurde bei diesem Versuch zusätzlich zu einer Druckreduzierung auf 3 bar eine Verzögerung der Sprinklerauslösung herbeigeführt. Durch diese Maßnahmen wurden die Versuchsbedingungen extrem verschärft.

Nach der Zündung erfolgte die Auslösung des Wärmemelders nach ca. 0,5 Minuten infolge der Flammenbildung (der Papierkorb war identisch wie beim Versuch 2). Die Auslösung des Rauchmelders wurde nach 1,20 Minuten registriert. Die Auslösung des Sprinklers erfolgte ca. 6 Minuten nach der Zündung, zu dem Zeitpunkt, wenn ein schneller Temperaturanstieg gemessen wurde (Abb. 4.3-18).

Aus der Grafik in Abb. 4.3-16 ist ersichtlich, dass die Temperaturen nach der Auslösung des Sprinklers zwar für einen kurzen Zeitraum gesunken sind, der Brandverlauf jedoch bereits fortgeschritten war. Durch die thermische Zersetzung des Polsters konnte sich der Brennvorgang in den vom Wasserstrom abgewandten und verdeckten Teilen des Sessels weiter entwickeln und die heißen Brandgase strömten in dem Luftspalt zwischen der Sesselrücklehne und der Wand in den Deckenbereich (Abb. 4.3-21).
Da der Wasserstrom aufgrund des reduzierten Druckes nicht bis unter die Decke reichte, konnten sich die Flammen unterhalb der Decke weiter ausbreiten. Die Brandgasströmung war zu dem offenen Fenster gerichtet. Durch die intensive Brandentwicklung wurde die Wandbekleidung in den Brandvorgang miteinbezogen und die Temperaturen erreichten ca. 800 °C.

Zu diesem Zeitpunkt wurde der Versuch abgebrochen und der Brand wurde gelöscht. Bei diesem Versuch kam es zum Zusammenwirken von allen kritischen Faktoren

- verringerter Fließdruck am Sprinkler
- und damit eine Veränderung des Sprühbildes, so dass keine ausreichende Benetzung der Wände gewährleistet werden konnte
- eine verzögerte Auslösung des Sprinklers zu einem Zeitpunkt, bei dem die Brandentwicklung bereits über die Zündphase hinaus fortgeschritten war
- so dass die brennbare Bekleidung der Wände und der Decke thermisch soweit aufbereitet wurde, dass zusätzliche Brandgasen entwickelt wurden.

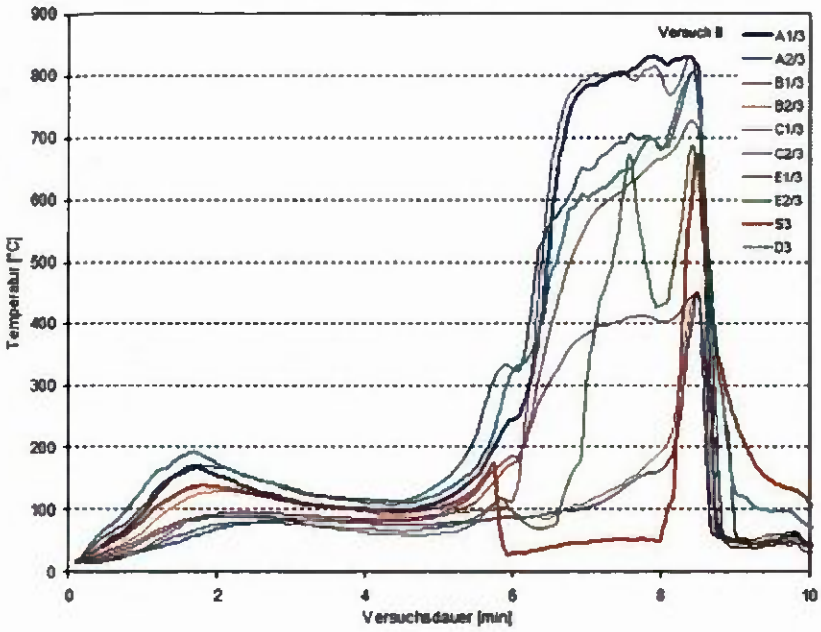


Abb. 4.3-16 Versuch Nr. 3. Temperaturentwicklung im Brandraum. Anordnung der Temperaturmeßstellen gem. Tabelle 4.2-2

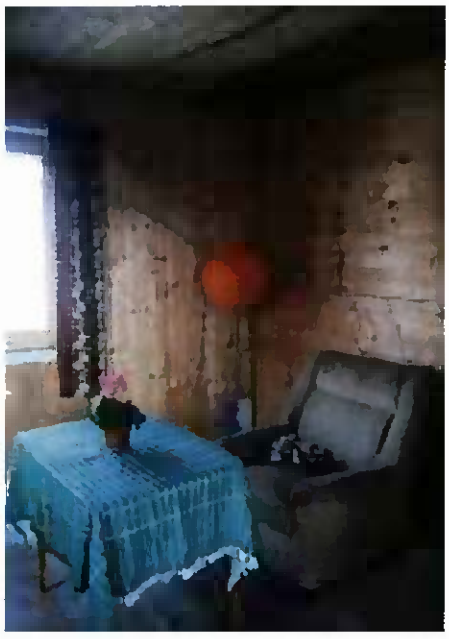


Abb. 4.3-17 Versuch Nr. 3. Versuchsanordnung

Abb. 4.3-18 Versuch Nr. 3. Brandentwicklung

Abb. 4.3-19 Versuch Nr. 3. Schadensbild

Abb. 4.3-20 Versuch Nr. 3. Schadensbild - Brandausbreitung

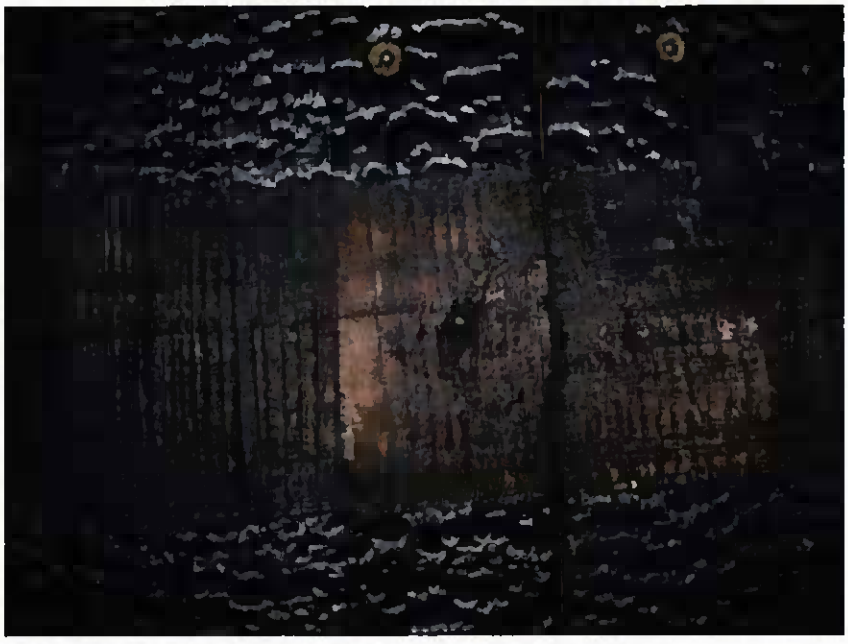


Abb. 4.3-21 Versuch Nr. 3. Schadensbild - Beschädigung der Wandbekleidung im Bereich hinter dem Sessel

Versuch Nr. 4

Der vierte Versuch wurde im Brandraum 2 mit nichtbrennbarer Bekleidung durchgeführt. Im Vergleich zu dem vorherigen Versuch Nr. 3 wurden die Versuchsbedingungen dahingegend verändert, dass der Sprinkler näher an die Innenwand versetzt wurde (Abstand zur Innenwand 1,50 m). Durch diese Anordnung sollte eine günstigere Löschwasserverteilung im Brandraum gewährleistet werden. Alle anderen Parameter: Fließdruck am Sprinkler von 3 bar und eine Auslösung des Sprinklers zum Zeitpunkt des Temperaturanstiegs wurden beibehalten.

Die beiden Branmelder lösten ähnlich wie bei den früheren Versuchen bereits durch die Entzündung des Papierkorbs nach ca. 1 Minute aus (Papierkorb war identisch wie bei den Versuchen 2. und 3.

Der Sprinkler wurde zeitgleich mit dem gemessenen Temperaturanstieg ausgelöst, ca. 6 Minuten nach der Zündung (Abb. 4.3-12). Dieser Temperaturanstieg wurde durch die intensive Verbrennung des Polsters herbeigeführt (Abb. 4.3-23).

Durch die Auslösung des Sprinklers kam es zu einer schnellen Abkühlung im Brandraum und die gemessenen Temperaturen sind auf ca. 50 °C gesunken. Aufgrund der bereits fortgeschrittenen, intensiven Verbrennung des Polsters konnte der Brand nicht sofort unterdrückt werden, so wie es bei den Versuchen Nr. 1 und 2 der Fall war. An der Position C1 im unmittelbaren Bereich der Rückenlehne (Zündbereich, Brandgasstrom) wurde ein kurzer Temperaturanstieg bis auf 420 °C registriert. Alle anderen Temperaturen in der Nähe des Brandherds lagen bei ca. 200 °C, die Temperaturen im Deckenbereich blieben bei ca. 60 °C. Durch die kühlende Wirkung des Löschwassers konnte der Brand nach ca. 5 Minuten unter Kontrolle gebracht werden (ca. 11. Versuchsminute).

Sowohl die Aufnahmen während des Versuches als auch die Sachadensbilder zeigen, dass durch die verzögerte Auslösung des Sprinklers die Brandentwicklung intensiver war, sie konnte jedoch aufgrund der günstigeren Wasserverteilung dennoch unter Kontrolle gebracht werden. Eine positive Auswirkung der nichtbrennbaren Wandbekleidung auf die Brandentwicklung ist ebenfalls anzunehmen.

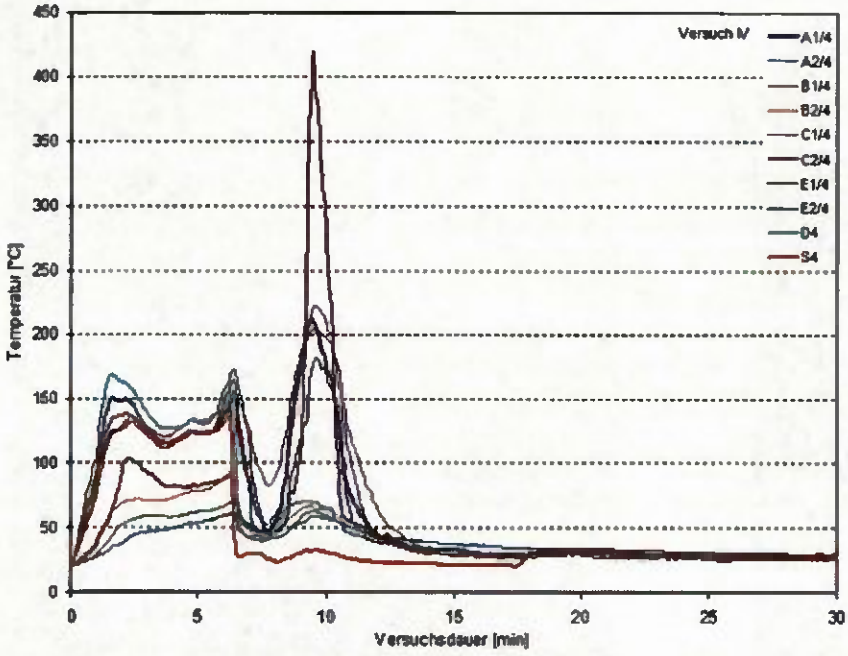


Abb. 4.3-22 Versuch Nr. 4. Temperaturentwicklung im Brandraum. Anordnung der Temperaturmeßstellen gem. Tabelle 4.2-2

Abb. 4.3-23 Versuch Nr. 4. Bradndentwicklung

Abb. 4.3-24 Versuch Nr. 4. Auslösung der Sprinkleranlage.

Abb. 4.3-25 Versuch Nr. 4. Löschphase. Wegen der Brandentwicklung in den für den Wasserzutritt verdeckten Bereichen war im Vergleich zu den Versuchen 1 und 2 ein längerer Löschvorgang von ca. 5 Minuten erforderlich, bis der Brand unter Kontrolle gebracht wurde.

Abb. 4.3-26 Versuch Nr. 4.
Schadensbild

Abb. 4.3-27 Versuch Nr. 4.
Schadensbild

Abb. 4.3-28 Versuch Nr. 4.
Schadensbild - Wandbekleidung

Abb. 4.3-29 Versuch Nr. 4.
Wasserbenetzung der Wände

Zusammenfassende Betrachtung

Bei einem ungeschützten Wohnraum besteht die Gefahr, dass sich ein Brand mit einem schnellen Temperaturanstieg zu einem Vollbrand entwickelt und einen großen Schaden zur Folge hat (Abb. 4.3-30, 4.3-31). Dass die Temperaturentwicklung nach einer Zündung schnell verlaufen kann und nur in der Anfangsphase der Brandgeschehens unterbunden werden kann, haben auch die vorliegenden Versuche deutlich gezeigt. Hierfür ist der Einsatz von automatischen Brandmeldesystemen und Löschanlagen sinnvoll und in der Praxis erprobt.

Durch eine Brandfüherkennung kann der Brand schnell entdeckt werden, durch die Verwendung von automatischen Löschanlagen aktiv innerhalb weniger Minuten unter Kontrolle gebracht werden. Dies geht aus dem Vergleich der Temperaturentwicklung im Deckenbereich in Abb. 4.3-32 und 4.3-34 deutlich hervor.

Für die Brandversuche wurde unter Berücksichtugung der Untersuchungen zur Wasserverteilung ein Sprinkler gewählt, bei dem eine ähnliche Wirkung vorausgesetzt wurde als bei Wassernebellöschanlagen. Durch die relativ große Oberfläche der, im Vergleich zu herkömlichen Sprinklern, kleinen Wassertropfen konnte die Brandwärme gut aufgenommen werden, so dass der Brandherd und die Umgebung wirksam gekühlt wurden. Zudem besteht das Löscheffekt auch darin, dass durch das Verdampfen des Löschwassers die Sauerstoffzufuhr zum Brandherd durch den Wasserdampf gehindert wird, was zu einem Stickeffekt im unmittelbaren Bereich der Flammenzone führt.

Ein weiterer Vorteil dieses Sprinkler war der geringe Wasserbedarf, so dass die Löschwasserschäden sehr gering sind. Trotz der geringen Wasserbeaufschlagung konnte in Verbindung mit einer gleichmäßigen Wasserverteilung eine wirksame Löschwirkung erreicht werden.

Das Ziel der Versuche bestand jedoch nicht nur darin, die Wirksamkeit einer Sprinkleranlage zu überprüfen, sondern vor allem darin, die Parameter zu definieren, die bei der Entwicklung einer konstruktiv einfach realisierbaren Anlage eingehalten werden müssen (Kapitel 4). Zu diesen Parametern gehören insbesondere

- die Sicherstellung eines ausreichenden Fließdruckes, da von diesem unmittelbar die Löschwasserverteilung (Sprühbild) abhängig ist. Dies wirkt sich sowohl auf die räumliche Verteilung des Löschwassers als auch auf die Größe der Löschwassertropfen und damit auf direkt auf den Löschvorgang aus
- die Anordnung des Sprinklers im Raum. Der Abstand der Sprinkler von den Wänden muss so gewählt werden, dass eine ausreichende Benetzung der Wände noch möglich ist und der Gefahr eines Überlaufens des Feuers vorgebeugt wird.

Abb. 4.3-30 Brandlast in einem Wohnbereich.
(Brandraum, vorliegende Untersuchungen

Abb. 4.3-31 Vollentwickelter Brand.
Untersuchungen R. Stein, 2006

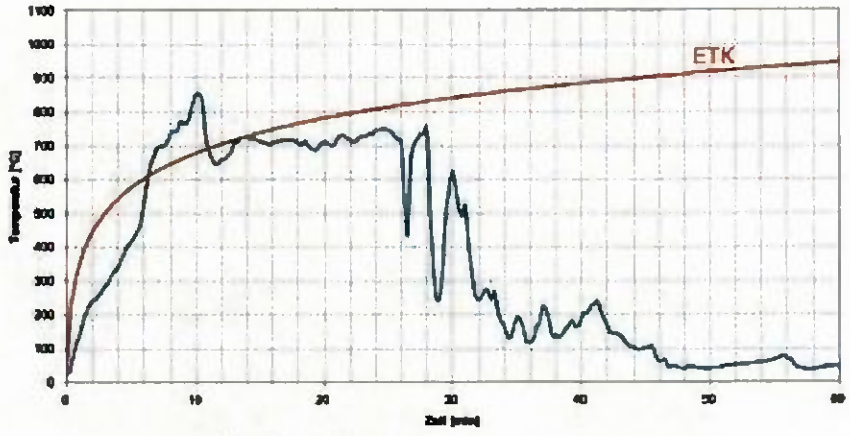


Abb. 4.3-32 Temperaturentwicklung im Deckenbereich bei einem vollentwickelten Brand im Vergleich zum Temperaturverlauf nach ETK, DIN 4102. Untersuchungen R. Stein, 2006

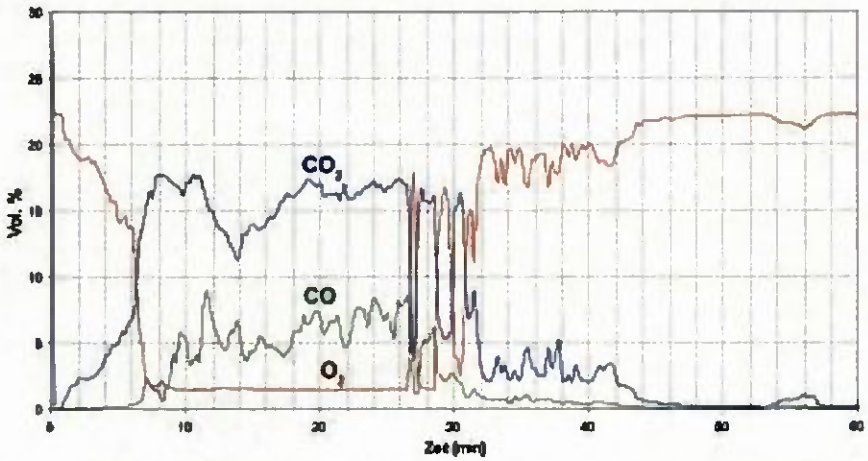


Abb. 4.3-33 Entwicklung der Brandgase bei einem vollentwickelten Brand Untersuchungen R. Stein, 2006

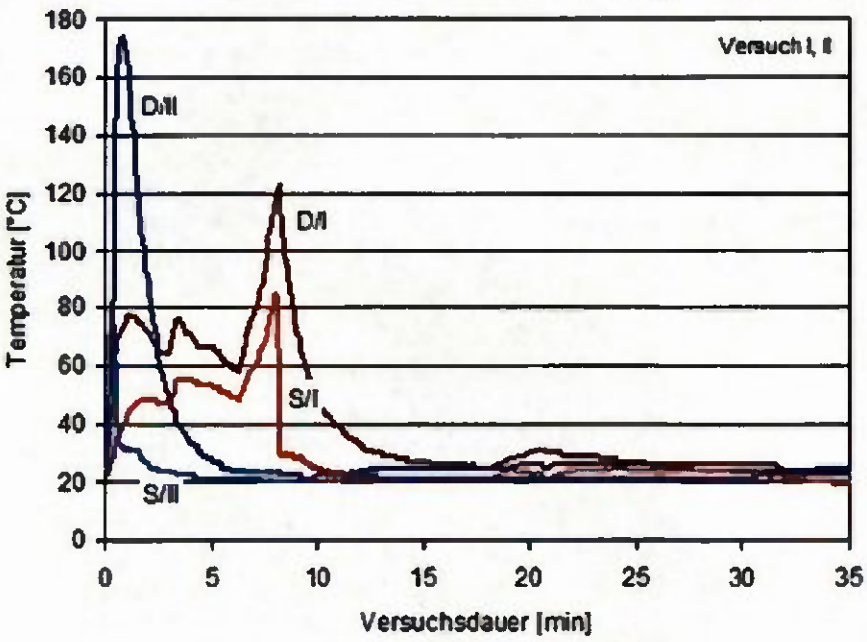


Abb. 4.3-34 Vergleich der Temperaturentwicklung im Deckenbereich bei den Versuchen Nr. 1 und Nr. 2 (vorliegende Untersuchung)
S-Temperaturmeßstelle im Abstand von ca. 10 cm vom Sprinkler
D- Temperaturmeßstelle im Deckenbereich oberhalb des Brandherds

5 Anlagentechnische Konzepte für Wohngebäude in Holzbauweise

5.1 Anforderungen, Kriterien

5.1.1 VdS-CEA-Richtlinien 4001 (2003-01) für Planung und Einbau von Sprinkleranlagen

Diese Richtlinien enthalten die Anforderungen und geben Empfehlungen für Planung, Einbau und Wartung von ortsfesten Sprinkleranlagen in Gebäuden und Industrieanlagen. Sie legen zudem besondere Anforderungen an Sprinkleranlagen fest, die für Maßnahmen des Personenschutzes wesentlich sind. Die Anforderungen und Empfehlungen dieser Richtlinien gelten auch für jede Ergänzung, Erweiterung, Reparatur oder sonstige Veränderung von Sprinkleranlagen. Diese Richtlinien umfassen die Klassifizierung von Gefahren, die Art der Wasserversorgung, die zu verwendenden Bauteile, den Einbau und die Prüfung der Anlage sowie die Wartung und Erweiterung bestehender Anlagen. An Gebäude und Abtrennungen werden Anforderungen gestellt, die für das ordnungsgemäße Funktionieren von Sprinkleranlagen entsprechend diesen Richtlinien erforderlich sind.

Nach dieser Richtlinie ist eine automatische Sprinkleranlage dafür ausgelegt, einen Brand schon im Entstehungsstadium zu entdecken und zu löschen oder das Feuer unter Kontrolle zu bringen, so dass es mit anderen Mitteln gelöscht werden kann. Die Sprinkleranlage sollte sich, bis auf wenige Ausnahmen, über das gesamte Gebäude erstrecken. Wichtig ist, dass Sprinkleranlagen ordnungsgemäß gewartet werden, damit sichergestellt ist, dass sie im Bedarfsfall funktionieren.

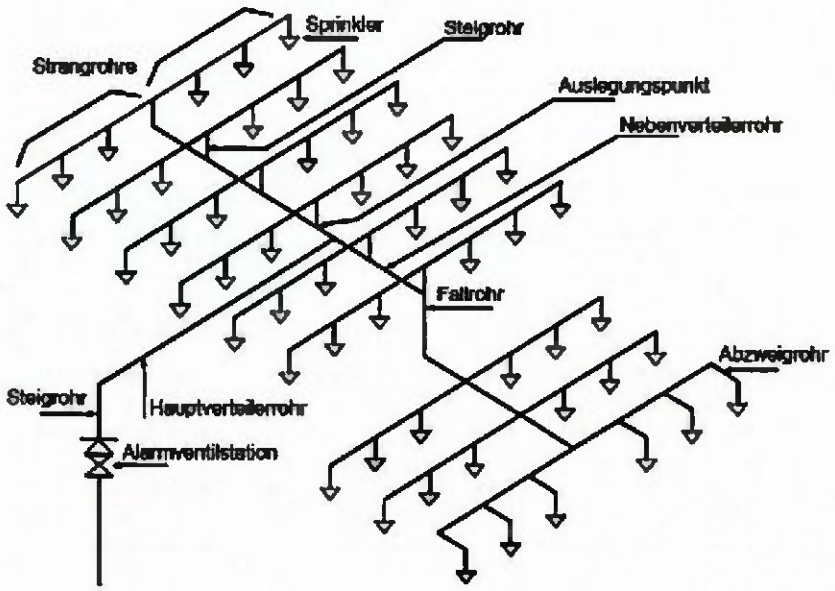


Abb.5.1 Wesentliche Elemente einer Sprinklergruppe (nach VdS CEA 4001: 2003-01)

Weiterhin werden in diesen Richtlinien die Abstände und Anordnung von Sprinklern festgelegt. Bei der für Wohngebäude anzusetzenden Brandgefahren-klasse LH kann demnach ein Sprinkler eine Schutzfläche von 21,0 m² abdecken. Da viele Wohnräume im Geschossbau diese Grundfläche unterschreiten, wird meist ein Sprinkler je Raum ausreichend sein. Die ausreichende Löschwirkung eines einzelnen Sprinklers konnte in den durchgeführten Brandversuchen (Kap. 4.3) nachgewiesen werden. Die Anordnung des Sprinklers sollte möglichst genau in der Raummitte erfolgen.

Tab. 5.1 Maximale Schutzfläche und Abstände für Sprinkler (außer Außenwandsprinkler)

Brandgefahrenklasse	Maximale Schutzfläche je Sprinkler	Maximale Abstände			
		Normal-Sprinkleranordnung		Versetzte Sprinkleranordnung	
		S	D	S	D
	m^2	m	m	m	m
LH	21,0	4,6	4,6	4,6	4,6
OH	12,0	4,0	4,0	4,6	4,0
HHP und HHS	9,0	3,7	3,7	3,7	3,7

LH: kleine Brandgefahr (Light Hazard); OH: mittlere Gefahr (Ordinary Hazard); HHP: hohe Gefahr, Produktionsrisiken (High Hazard Production); HHS: hohe Brandgefahr, Lagerrisiken (High Hazard Storage)

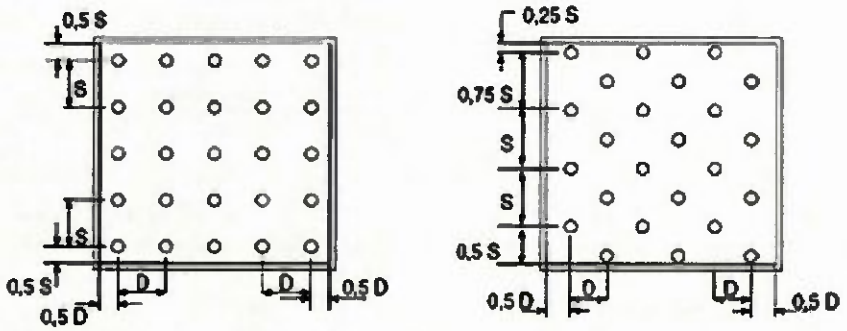


Abb. 5.2 Abstände von Deckensprinklern nach VdS CEA 4001; 2003-01

5.1.2 Hygienevorschriften für Trinkwasserleitungen

Als zentrales Regelwerk für den Schutz des Trinkwassers und der Erhaltung der Trinkwassergüte gilt die DIN 1988 Teil 4. Als Ursache für eine mögliche Beeinträchtigung des Trinkwassers bei der hier vorgeschlagenen Kombination des Kaltwasser-Leitungsnetzes mit der Sprinkleranlage ist die Stagnation des Trink-wassers in den Strang- und Verteilerrohren der wohnungsweisen Sprinklerleitungsnetze zu sehen. Durch diese Stagnation kann die Trinkwasserqualität durch erhöhte Konzentration von in Lösung gehender Werk- und Betriebsstoffe und/oder durch Keimvermehrung beeinträchtigt werden.

Aus hygienischen Gründen wird in dieser Norm empfohlen, nach Stagnationszeiten von mehr als etwa 4 Wochen eine Spülung der Leitungsanlage vorzunehmen. Da im Leitungsnetz des Sprinklersystems(bei Nassanlagen) das Wasser dauerhaft stagniert, sind bei der Kombination von Trinkwasser- und Sprinklerleitungsnetz ist eine Trennung der beiden Systeme im „Normalzustand" zu gewährleisten.

5.2 Anlagekonzepte

In folgender Grafik ist beispielhaft der Grundriss einer Wohnung in einem Geschoßwohnbau dargestellt. Zusätzlich ist – ausgehend vom Kaltwasser-Steig-strang im Badezimmer – ein Sprinkler-Leitungsnetz eingezeichnet, das alle Räume (bis auf das Badezimmer) der Wohnung erfasst. Das Nebenverteilerrohr ist zentral im Flur angeordnet und könnte entweder im Deckenaufbau selbst (bei einer Holzbalkendecke) oder in einer abgehängten Leichtbaudecke integriert werden. Von dort aus führen Strangrohre in die einzelnen Räume. Die Anzahl der Sprinkler je Raum hängt sowohl von der Grundfläche des Raumes (nach VdS CEA 4001 max. 21 m^2 je Sprinkler) als auch von maximalen

Abständen zu den Wänden (max. 2 m bei normaler Anordnung der Sprinkler) und zwischen zwei Sprinklern ab (Abb. 5.2).

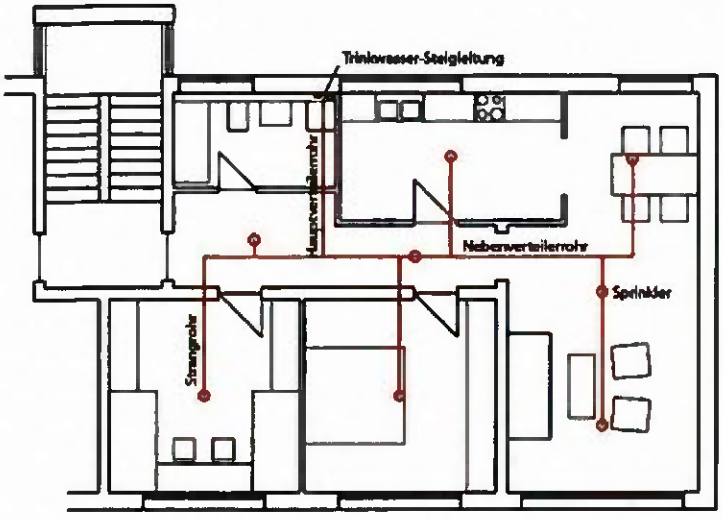


Abb.5.3 Mustergrundriss einer Wohnung mit Sprinkler-Leitungsnetz

Die Einhaltung der Hygienevorschrift könnte durch ein planmäßig geschlossenes Magnetventil im Abzweig des Sprinkler-Hauptverteilerrohrs sichergestellt werden (Abb. 5.5). Im Brandfall wird dieses Ventil in der betroffenen Wohnung durch ein Signal des Rauchmelders geöffnet. Durch diese Zweimelder-Abhängigkeit wird gewährleistet, dass eine versehentliche Beschädigung eines Sprinklers nicht zum Auslösen der Sprinkleranlage und damit zu einem oft erheblichen Wassereintrag ins Gebäude führt. Außerdem könnte über den Rauchmelder eine Druckerhöhungspumpe im Leitungsnetz – falls der vorhandene Versorgungsdruck nicht ausreicht – angefahren werden.

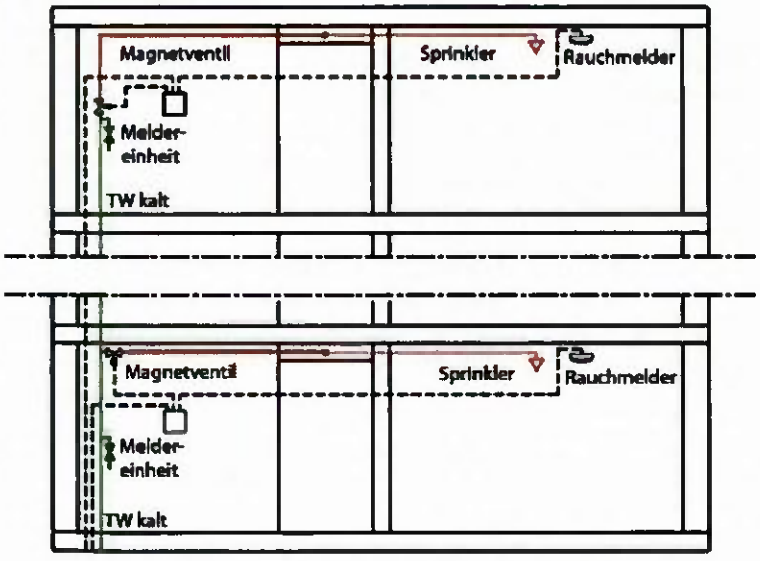


Abb. 5.4 Vertikalschnitt mit Anlagenschema

5.2.1 Verlegung bei Massivholzdecken

Ziel der Integration einer Sprinkleranlage in ein Wohngebäude ist die möglichst unauffällige Verlegung der Sprinklerleitungen mit geringem baulichem Aufwand. Wie bereits oben beschrieben könnte die Verlegung quer zur Spannrichtung

der Massivholzelemente darunter erfolgen und durch z.B. eine abgehängte Leichtbauplatte abgedeckt werden. Die Leitungsführung zu den einzelnen Sprinklern in den Räumen könnte dann in eingefrästen Nuten erfolgen (Abb. 5.5).

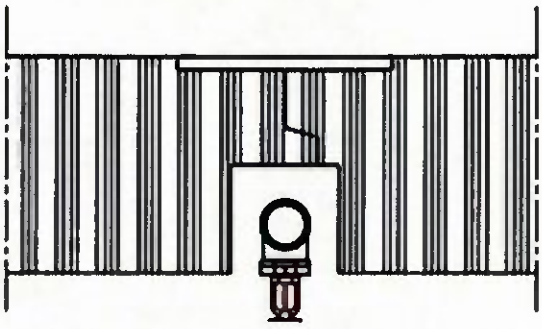


Abb.5.5 Verlegevorschlag einer Sprinklerleitung in einer Massivholzdecke

5.2.2 Verlegung bei Holzbalkendecken

Bei Holzbalkendecken sind die Sprinkler-Rohre vollständig in der Deckenebene integrierbar. In Balkenrichtung können sie zwischen zwei Balken verlegt werden (Abb. 5.6), senkrecht zur Balkenrichtung in entsprechenden Bohrungen möglichst in der neutralen Zone. Im Geschossbau ist dabei auf die Einahltung der Schallschutzanforderungen zu achten.

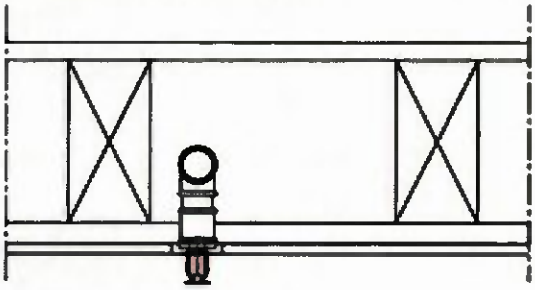


Abb.5.6 Verlegevorschlag einer Sprinklerleitung in einer Holzbalkendecke

Zusammenfassung

Jedes Gebäude ist dem Gefahrenfall „Brand" ausgesetzt, wobei der Brandverlauf durch eine Vielzahl von Einflussgrößen beeinflusst wird, die sich auf das Brandgeschehen hemmend oder begünstigend auswirken. Brandereignisse in Holzbauten können aufgrund ihrer materialtechnischen und konstruktiven Gegebenheiten kritischer verlaufen als bei Massivbauten.

Die Verwendung von Brandmeldern und Löschanlagen gehört mittlerweile zu gängigen und unbestritten wirksamen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit der Gebäudenutzer in einem Brandfall. Ihre Funktionalität wurde auch während der durchgeführten Brandversuche eindeutig bestätigt.

Brandsicherheit im Holzbau bedeutet, dass neben der Beachtung konstruktiver Regeln und sorgfältiger Bauausführung ein überlegtes und in sich schlüssiges Gebäudekonzept ausgearbeitet werden soll. Hier müssen nicht nur architektonische, bauphysikalische und konstruktive Grundsätze, sondern auch die Anforderungen des Brandschutzes berücksichtigt werden und mögliche Schwachpunkte durch zusätzliche geeignete bauliche oder technische Maßnahmen kompensiert werden.

Die Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes bieten immer wieder Anlass zu engagierten Diskussionen, da die Vorsorge für ein höchst selten eintreffendes Ereignis unter Umständen mit hohen Investitionen verbunden ist.

Ein Einwand, der im Zusammenhang mit dem Thema eines technisch vereinfacht ausgeführten Löschanlage manchmal zu hören ist, dass durch diese Entwicklung der übliche Sicherheitsstandard reduziert wird, ist teilweise begründet. Im Fall, wenn brandschutztechnische Anforderungen an Gebäude nur durch Kompensationsmaßnahmen erfüllt werden können, wird es auch weiterhin erforderlich sein, einen möglichst hohen Sicherheitsstandard der Löschanlage sicherzustellen.

Dennoch ist es möglich, auch mit einer einfachen technischen Lösung, einen wirksamen Schutz zu gewährleisten. Die Versuche haben eindeutig gezeigt, dass eine Wasserlöschanlage auch bei einer einfacher Ausführung zuverlässig funktionieren kann vorausgesetzt, dass die grundsätzlichen Parameter wie beispielsweise ein ausreichender Fließdruck und Anordnung im Raum eingehalten werden. Eine Festlegung der maßgeblichen Kriterien, die bei der Ausführung zu beachten sind ist erforderlich. Da hierfür weitere detailierte Untersuchungen notwendig sind, wäre eine Fortsetzung dieses Projektes sinnvoll und empfehlenswert.

Literatur

Ambrozy, G.H. - Giertlová, Z. (2005): Planungshandbuch Holzwerkstoffe. Springer Verlag, Wien NewYork

Ambrozy, G.-H. - Winter, W. (1999): Brandsicherheit von Holz- und Holzmischkonstruktionen bei verdichteten Bauweisen des Wohnungsbaus - Vergleich der österreichischen Bauvorschriften. ProHolz, Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurbau an der TU Wien

Bjerregard, L.D.- Nonnemann, S.H. (2003): Mennesker og brand – En undesokelse af sammenhaengen mellem udvalgte sociookonomiske faktorer og brand. Beredskabsstyreisen, Birkerod (zitiert in Maag, 2004)

Bodamer et al. (1987): Das Verhalten von Menschen bei Gebäudebränden. Teil I. Literaturauswertung. Forschungsbericht Nr. 60. Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Brunner, U. (1996): Brandschutz zwischen Politik und Technik. Das Sicherheitsempfinden als Spiegel der Gesellschaft, Aarau

Bundesamt für Statistik, Schweiz (2000): Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2000. Neue Züricher Zeitung

Emmons, W. H. (1973): Heat Transfer in Fire. Journal of Heat Transfer 2; S. 145-151

Ford, J. (1977): One city´s case dor residential sprinkler systems. NFPA-Journal, July/August

Gerber, G. (2007): Brandmeldeanlagen. Hüthig & Pflaum, München/Heidelberg

Giertlová, Z. - Ambrozy, G. H. - Bergmeister, K. (2001): Brandverhalten von Bauteilen im Holzbau. Heft Nr. 47, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, BOKU, Wien

Hausladen, G. - Giertlová, Z. (2005): Use of Residential Sprinkler in Multistorey Wooden Buildings. In: Pozární ochrana 2005, VSB-TU Ostrava

Hoffmann, W. – John, R. (1969): Modellbrandversuche. Forschungsbericht Nr. 12, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Holdgate, R. (2001): A mandate for sprinklers? Fire Prevention and Fire Engineer Journal, September 2001, Fire Protection Association, London

Hosser, D. (1993): Brandschutz–Ingenieurwesen – Entwicklung eines neuen Wissenschaftzweiges. vfdb–Zeitschrift, Nr. 4, S. 169–174

Karter, M. J. (1999): Fire Loss in the United States During 1988. Fire Analysis & Research Division, National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA

Kordina u. Meyer–Ottens, C. (1994): Holz–Brandschutz–Handbuch. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München

Kunkelmann, J, (1995): Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind. Bericht Nr. 95, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Kunkelmann, J, (1998): Auswirkung des Einsatzes ortsfester Wassernebellöschanlagen auf die Brand- und Rauchausbreitung in Gebäuden mit doppelten Fassaden. Bericht Nr. 108, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Kunkelmann, J, (2002): Einsatz von Wassernebel-Löschanlagen zur Verhinderung der Ausbreitung von Bränden innerhalb von Treppenräumen mit Holztreppen und/oder Holzverkleidungen in die darüberliegenden Wohnungen insbesondere bei Altbauten. Bericht Nr. 129, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Kunkelmann, J, (2004): Rauchausbreitung in Treppenräumen ohne und mit Einfluss von ortsfesten Wasserlöschanlagen. Teil 1. Bericht Nr. 135, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Kunkelmann, J, (2005): Rauchausbreitung in Treppenräumen ohne und mit Einfluss von ortsfesten Wasserlöschanlagen. Teil 2. Bericht Nr. 136, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe

Maag, T. (2004): Risikobasierte Beurteilung der Personensicherheit von Wohnbauetn im Brandfall unter Verwendung von Bayes´schen Netzen. Dissertation, ETH Zürich

Maag, T.-Fontana, M. (2000): Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise. Versuchsbericht. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich

Madrzykowski, D. – Flemming, R. (2002): Review of Residential Sprinkler Systems: Research and Standards. NISTIR 6941, NFPA

Mehaffey, J. R. (1987): Combustibility of Building Materials. Seminar Building Science Insight ´87: Designing for Fire Safety. The Science and its Application to Building Codes.

Neuhoff, S. (1998): Schutzziele für die Feuerwehr – nationale Entwicklung und internationaler Vergleich. Tagungsband der Jahresfachtagung der vfdb, 7.–10.6.1998, Erfurth, S. 65–72

Östmann, B. – König, J. – Mikkola, E. – Stenstad, V. – Karlsson, B. – Walleij, L. (1999): Brandsäkra trähus – Kunskapsöversikt och vägledning för lättbyggsystem i Norden. Publikation Nr. 9908034, Trätek, Stockholm (zitiert in Maag, 2004)

Rauchmelder retten Leben. Sonderheft der Zeitschrift Schadenprisma

Rupp, M. (1997): Bestandsaufnahme und Analyse von Brandschäden bei Holzbauten – Ursache, Verlauf, Bewertung. Diplomarbeit, Studiengang Allg. Bauingenieurwesen, Fachhochschule Augsburg

Schremmer, U. (1996): Stationäre automatische Wasservernebelungsanlagen – Grundsätze, Wirkungsweise, Gestaltung und Einsatzgrenzen. Dissertation, Universität Magdeburg

Stein, J. (1999): Verhalten von Menschen bei Bränden. BrandSchutz – Deutsche Feuerwehr–Zeitung, 4, S. 308–315

Stingl, H. (2007): Zur Sicherheit. Zuschnitt, Nr. 25, März 2007, Hrsg. proHolz Austria, S. 4-5

Tichelmann, K. (1998): Bewertung des Brandlasteintrags und Risikoabschätzung von mehrgeschossigen Holzhäusern und deren raumabschließenden Bauteilen. In Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau, 8. Brandschutztagung 2.5.1998, DGfH, München, S. 173–198

Troitzsch J. (1981): Brandverhalten von Kunststoffen. Carl Hanser Verlag, München–Wien

Tyco Fire Products L.P (2005): History of Sprinkler Systems. The Station House A News Letter for AHJ's, February 2005

Wang, M. (1994): Theoretische Grundlagen der Löschwirkung und der Effizienz von Sprinklern. Dissertation, Universität Kaiserslautern

Williams, C. – Frase-Mitchel, J. - Campbell, S. - Harrison, R. (2004): Effectiveness of Sprinklers in Residential Premises. Report No. 204505, Building Research Establishment, 2005

Winter, S. (2000): Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau. Teil 2. Quadriga Nr. 4, S. 21–23

Winter, S. – Stein, R. (2006): Untersuchung von brandschutztechnisch optimierten Wand- und Deckenaufbauten im Rahmen der Kampagne Brandschutz. Untersuchungsbericht Stand 12/2006

Wood, P. G.: The Behaviour of People in Fires. Final Report. Loughborough University of Technology, Loughborough

Beilicke, G. (1990): Bautechnischer Brandschutz. Rudolf Haufe Verlag, Berlin

Normen und Richtlinien

DIN 14676: Rauchmelder für Wohnhäuser, Wohnungen und Räume mit wohnähnlicher Nutzung. Einbaum Betrieb und Instandhaltung.

DIN EN 54: Brandmeldeanlagen

DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

ISO 834: Fire Resistance Tests. Elements of Building Construction.

SIA Dokumentation 81: Brandrisikobewertung – Berechnungsverfahren (1984)

NFPA 13D: Installation of Sprinkler Systems. One- and Two-Family Dwellings and Manufacturend Homes, 2002

NFPA 13R: Installation of Sprinkler Systems. Residential Occupancies up to and Including Four Stories Height, 2002

VdS-Richtlinien für Sprinkleranlagen, 2002

ISO 6182-10 Requirements and Test Methods for Domestic Sprinklers

UL 1626 Residential Sprinklers for Fire Protection Service

vfdb–Richtlinie 10/03 (1997) „Schadstoffe bei Bränden". Referat 10 – Umweltschutz – des Technisch Wissenschaftlichen Beirates der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb), München

Firmenunterlagen

Minimax GmbH & Co. KG:
Produktkatalog Wasserlöschanlagen K.1.1.20, 01.06
Planer-Produkthandbuch
Internetinformationen www.minimax.de

Tyco Fire & Building Products LP.:
Series LFII. Residential Sprinkler Design Guide
Golinveaux, J. (2003): A Technical Analysis: Listings and Aplications of Residential Sprinklers
Internetinformationen www.tyco-fire.com

JOMOS Brandschutz AG:
Internetinformationen www.jomos.ch